



# CATÓLICA

UNIVERSIDADE CATÓLICA PORTUGUESA  
ESCOLA SUPERIOR DE BIOTECNOLOGIA

## **MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA**

## **ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÓMICA**

por,

Antoni Roger Pereira Sequeira

Março 2011



**CATÓLICA**  
UNIVERSIDADE CATÓLICA PORTUGUESA  
ESCOLA SUPERIOR DE BIOTECNOLOGIA

## **MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA**

### **ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÓMICA**

Relatório de estágio apresentada à Escola Superior de Biotecnologia da Universidade Católica  
Portuguesa para obtenção do grau de Mestre em  
Engenharia do Ambiente

por,

Antoni Roger Pereira Sequeira

**Local:** Selfenergy, SA.

**Orientação:** Mestre em Engenharia Pedro Manuel Pereira Fonseca Santos

**Co-Orientação:** Doutor João Paulo Medeiros Ferreira

Março de 2011

*“Cessons de fouiller le sol... levons les yeux vers le ciel”*

Yann Arthus-Bertrand

## Resumo

A presente dissertação tem por base um estágio curricular do Mestrado em Engenharia do Ambiente realizado na empresa Self Energy SA.

As alterações climáticas que se fazem sentir em todo o Mundo levaram a uma consciencialização dos governos, empresas e da população em geral em relação aos problemas ambientais. Torna-se importante agir no sentido de mudar o rumo para novas alternativas energéticas. Neste contexto, aparece o incitamento à exploração de energias renováveis, onde se inclui a energia solar, com destaque na microgeração fotovoltaica. Como Portugal possui um dos maiores índices de insolação da Europa, a tecnologia fotovoltaica tornou-se uma tecnologia de interesse nacional e em constante crescimento.

Neste relatório, apresenta-se a análise técnica de instalações de microgeração fotovoltaica com ligação à Rede Eléctrica de Serviço Público, baseada em casos reais. Consideraram-se dois tipos de sistemas, fixos e seguidores solares - *trackers*, e para eles foram elaboradas as respectivas simulações de produção de energia eléctrica. Foram também realizadas simulações de produção em diferentes locais de Portugal (Norte, Região de Lisboa e Sul), obtendo-se diferenças significativas entre Norte e Sul do país. Pelas simulações efectuadas, com os pressupostos de uma potência de ligação à rede eléctrica de 3,68 kW e acesso ao regime bonificado (ambos explícitos na legislação em vigor), elaboraram-se as respectivas análises de viabilidade económica. Estas mostraram valores positivos, com tempos de retorno do investimento médios de 7,3 e 6,7 anos, para os sistemas de microgeração fixo e de seguidores solares, respectivamente.

Estes casos mostram que os sistemas fotovoltaicos representam hoje uma grande oportunidade de negócio para empresas e particulares, enquadrando-se numa visão de um futuro sustentável e de uma política ambiental correcta.

## ***Abstract***

*This report regards a training placement that took place at the company Self Energy SA, as a requirement of the MSc program in Environmental Engineering at Escola Superior de Biotecnologia - UCP.*

*The climate changes that are felt worldwide, led to an increased awareness by governments and general population of the environmental problems. It is important to implement changes toward alternative energy sources. In this context, there has been an incitement for exploring renewable energies, such as the solar energy, via e.g. photovoltaic microgeneration. As Portugal has one of the highest solar incidences within Europe, photovoltaic technology represents a growing national interest.*

*This report presents technical analyses of photovoltaic microgeneration installations with connection to the Public Electric Grid, based on real cases. Fixed and tracker systems were considered in this study. Simulations of power generation for both types of systems were carried out, considering different locations in Portugal (North, Lisbon area and South). Significant differences were found between the North and the South of the country. Based on the assumptions of a connection to the Public Grid of 3.68 kW nominal power and access to the subsidized tariff regimen stipulated by legislation, the respective economic analyses were performed. These showed positive results, with average payback periods of 7.3 and 6.7 years for the fixed and the tracker system, respectively.*

*These cases show that photovoltaic microgeneration systems represent a business opportunity for companies and private homeowners. They contribute to a vision of a sustainable future and are part of a correct environmental policy.*

## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar, quero agradecer aos meus pais e irmãos, por todo o apoio que me deram ao longo do meu percurso curricular.

Quero também agradecer ao Engenheiro Pedro Santos e ao Álvaro Teixeira, pela ajuda e disponibilidade que prestaram ao longo do estágio. Não posso deixar de agradecer o colega e amigo Miguel Salústio, por todo o seu apoio e conhecimento transmitido durante todo o estágio.

Os meus agradecimentos vão também para o Professor João Paulo Ferreira, por toda a disponibilidade e ajuda dada na elaboração da dissertação.

Por último, não poderia deixar de agradecer todos os meus amigos.

# Índice

Lista de Figuras .....	9
Lista de Tabelas.....	10
Lista de Abreviaturas.....	11
Lista de Símbolos .....	13
Capítulo 1.....	14
1. Introdução .....	14
1.1 Enquadramento .....	14
1.1.1 Os Diferentes Recursos Energéticos. ....	14
1.1.2 Panorama Energético Mundial e a sua Evolução.....	15
1.1.3 Mercado Energético em Portugal.....	17
1.1.4 Políticas Ambientais.....	19
1.2 Motivação .....	20
1.3 Estrutura.....	22
Capítulo 2.....	23
2. Energia Fotovoltaica.....	23
2.1 O Fotovoltaico .....	24
2.1.1 Breve História .....	24
2.1.2 O Efeito Fotovoltaico .....	24
2.1.3 Tipos de Células e Módulo Fotovoltaico.....	25
2.1.4 Os Diferentes Sistemas Fotovoltaicos. ....	26
2.1.5 Impactes Ambientais .....	27
2.1.6 Vantagens e Desvantagens .....	28
2.2 Competitividade do Fotovoltaico: Análise SWOT .....	30
Capítulo 3.....	32
3. A Microgeração Fotovoltaica .....	32
3.1 Como se tornar Microprodutor? – Conjuntura Legislativa Actual.....	32
Capítulo 4.....	36
4. Análise Técnica de uma Instalação de Microgeração .....	36
4.1 Microgeração Fotovoltaica com Ligação a RESP.....	36
4.2 Perdas associadas num sistema de Microgeração FV .....	45

Capítulo 5.....	46
5. Apresentação de Casos Práticos.....	46
5.1 Visita Técnica a Instalação.....	46
5.2 Simulação de produção de Energia.....	49
5.3 Apresentação de uma microgeração fotovoltaica em Murça .....	50
5.3.1 Simulação PVGIS em Murça .....	55
5.4 Instalação de um seguidor solar na região de Lisboa. ....	57
5.5 Simulações PVGIS em Portugal: Comparação da produção de energia .....	60
Capítulo 6.....	63
6. Análise Económica de uma microgeração FV .....	63
6.1 Análise da Viabilidade Económica ao Caso Prático de Murça .....	64
6.2 Análise da Viabilidade Económica da microgeração em Portugal.....	67
Capítulo 7.....	69
7. Conclusões .....	69
Referências.....	72
<i>ANEXO A : Simulação PVGIS da instalação de microgeração em Murça. ....</i>	<i>75</i>
<i>ANEXO B : Análise económica da instalação de microgeração em Murça. ....</i>	<i>79</i>
<i>ANEXO C: Simulação PVGIS e análise económica em Sobral de Monte Agraço .....</i>	<i>82</i>
<i>ANEXO D: Simulação PVGIS e análise económica em Amareleja.....</i>	<i>87</i>



## Lista de Figuras

Figura 1.1 - Desagregação dos diferentes tipos de energias utilizados no Mundo, em 1973 e 2008. <i>Fonte: AIE.</i> .....	16
Figura 1.2 - Projecção até 2035 do consumo energético mundial. <i>Fonte: AIE.</i> .....	17
Figura 1.3- Evolução do Consumo de Energia Primária em Portugal. <i>Fonte: DGGE.</i> .....	18
Figura 1.4 - Repartição por tecnologia da energia comercializada pela EdP Serviço Universal em Dezembro de 2010. <i>Fonte: EDP Serviço Universal.</i> .....	19
Figura 1.5 - Vagas de Desenvolvimento da Política de Energias Renováveis em Portugal. <i>Fonte: MEID, DGEG.</i> .....	20
Figura 2.1 - Potencial do Fotovoltaico na Europa. <i>Fonte: EU, Joint Research Centre.</i> .....	23
Figura 2.2 - Estrutura e função de uma célula cristalina solar. <i>Fonte: (Energia Fotovoltaica, 2004)</i> .....	25
Figura 3.1 - Passos principais para se tornar microprodutor de electricidade . .....	33
Figura 4.1 - Sistema de microprodução fotovoltaico com ligação a RESP <i>Fonte: PNAEE.</i> ....	36
Figura 4.2 - Diagrama de um sistema de microgeração fotovoltaico (Solução A). .....	37
Figura 4.3 - Legenda do diagrama da Figura 16. ....	38
Figura 4.4 - Diferentes tipos de aplicação de painéis fotovoltaicos. ....	39
Figura 4.5 - Vista lateral de um painel fotovoltaico. ....	41
Figura 4.4 - Solução A de interligação à RESP. ....	45
Figura 5.1 - Identificação do Programa de cálculo utilizado para efectuar simulações de PV.	50
Figura 5.2 - Localização da instalação de microgeração e solar térmico em Murça. ....	51
Figura 5.3 - Instalação de uma microgeração PV em Murça.....	52
Figura 5.4 - Inversor e caixas de cortes AC e DC. ....	53
Figura 5.5 - Contador de produção, contador de consumo e portinhola PC/P.....	53
Figura 5.6 - Diferentes sistemas de Solar térmico. (Sistemas Solares Térmicos).....	54
Figura 5.7 - Colectores solares. ....	54
Figura 5.8 - Acumulador do solar térmico e central térmica. ....	55
Figura 5.9 – Evolução da energia produzida em kWh, ao longo do primeiro ano.....	56
Figura 5.10 - Instalação da estrutura do seguidor solar. ....	58
Figura 5.11 - Seguidor solar na região de Lisboa. ....	58
Figura 5.12 - Inversor da instalação do seguidor solar. ....	59
Figura 5.13 - Calibração do seguidor solar. ....	59
Figura 5.14 - Calibração do motor do seguidor solar. ....	60
Figura 5.15 - Comparação da produtividade de energia em diferentes locais de Portugal. ....	61
Figura 6.1 - Viabilidade económica de uma microgeração FV em Murça. ....	65
Figura 6.2 - Comparação da viabilidade económica de uma microgeração FV em Portugal...	68
Figura A.1 - Simulação PVGIS em Murça. ....	76
Figura C.1 - Simulação PVGIS em Sobral de Monte Agraço. ....	83
Figura D.1 - Simulação PVGIS em Amareleja. ....	88

## Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Análise SWOT ao Fotovoltaico em Portugal. ....	30
Tabela 4.1 - Ângulos de inclinação para instalação de painéis fotovoltaicos. ....	40
Tabela 4.2 - Secção dos cabos utilizados numa instalação de microprodução. (Nogueira) .....	43
Tabela 4.3 - Valores de Corrente e Resistência de Terra. (Pita) .....	44
Tabela 5.1 - Dados obtidos através da simulação PVGIS em Murça. ....	56
Tabela 5.2 - Dados obtidos através da simulação PVGIS em Sobral de Monte Agraço. ....	62
Tabela 5.3 - Dados obtidos através da simulação PVGIS em Amareleja. ....	62
Tabela 6.1 – Custos associados e tempo de retorno para a instalação da microgeração FV em Murça. ....	66
Tabela 6.2- Tempos de retorno das instalações para investimentos sem financiamento. ....	67
Tabela A.1 - Dados obtidos através da simulação PVGIS para sistema fixo, em Murça. ....	77
Tabela A.2 - Dados obtidos através da simulação PVGIS para seguidor solar de 2 eixos, em Murça. ....	78
Tabela B.1 - Análise económica, com financiamento para um sistema fixo, em Murça. ....	80
Tabela B.2 - Análise económica, sem financiamento para um sistema fixo, em Murça. ....	80
Tabela B.3 - Análise económica, com financiamento para um <i>tracker</i> , em Murça. ....	81
Tabela B.4- Análise económica, sem financiamento para um <i>tracker</i> , em Murça. ....	81
Tabela C.1 - Dados obtidos através da simulação PVGIS para sistema fixo, em Sobral de Monte Agraço. ....	84
Tabela C.2 - Dados obtidos através da simulação PVGIS para seguidor solar de 2 eixos, em Murça. ....	85
Tabela C.3 - Análise económica, sem financiamento para um sistema fixo, em Sobral de Monte Agraço. ....	86
Tabela C.4 - Análise económica, sem financiamento para um <i>tracker</i> , em Sobral de Monte Agraço. ....	86
Tabela D.1 - Dados obtidos através da simulação PVGIS para sistema fixo, em Amareleja. ..	89
Tabela D.2 - Dados obtidos através da simulação PVGIS para seguidor solar de 2 eixos, em Amareleja. ....	90
Tabela D.3 - Análise económica, sem financiamento para um sistema fixo, em Amareleja. ..	91
Tabela D.4 - Análise económica, sem financiamento para um <i>tracker</i> , em Amareleja. ....	91

## **Lista de Abreviaturas**

AC ou CA – Alternating Current ou Corrente Alternada

ADENE – Agência para Energia

AIE ou IEA – Agência Internacional de Energia ou Internacional Energy Agency

CC – Contador de Consumo

CP – Contador de Produção

CPE – Código Ponto de Entrega

DC ou CC – Direct Current ou Corrente Contínua

DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia

EDP – Energias de Portugal

ERSE –Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

FER – Fontes de Energia Renováveis

GEE – Gases a Efeito de Estufa

IPSS – Instituições Particulares de Solidariedade Social

IRS – Imposto sobre Rendimentos

IVA – Imposto sobre Valor Acrescentado

MEID - Ministério da Economia, Inovação e Desenvolvimento

MPP – Maximum Power Point

PC/P – Portinhola Consumo/Produção

PNAEE – Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética

PV ou FV – Fotovoltaico

PVGIS – Photovoltaic Geographical Information System

QGBT – Quadro Geral de Baixa Tensão

RESP – Rede Eléctrica de Serviço Público

RTIEBT - Regras Técnicas de Instalações Eléctricas em Baixa Tensão

SRM – Sistema de Registo de Microprodução

TAN – Taxa Anual Nominal

TAEG – Taxa Anual Efectiva Global

## Lista de Símbolos

CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono

€/kWh – Euro por quilowatt hora

kg - Quilograma

kVA – Quilovoltampere

kWh – Quilowatt hora

kWp – Quilowatt pico

Mtoe - Mil Milhões de Toneladas equivalentes de petróleo

MW – Megawatt

tWh – Terawatt hora

Wp – Watt pico

# Capítulo 1

## 1. Introdução

### 1.1 Enquadramento

Ao longo da História, o Homem sempre procurou diferentes formas de energia para satisfazer as suas necessidades, desde o simples animal para ajudar na Agricultura, até ao petróleo na Sociedade em que hoje vivemos. A descoberta do petróleo, e a sua utilização como fonte de energia de forma massiva nas últimas décadas, levou a uma situação de insustentabilidade, tanto económico-social como ambiental.

#### 1.1.1 Os Diferentes Recursos Energéticos.

Em termos físicos, a energia é denominada como sendo a “capacidade de um sistema modificar o estado de uma partícula, produzindo um trabalho que irá levar a um movimento ou produção de calor” (Wikipedia *Énergie*, 2011). O termo energia é bastante vasto, tendo vários domínios de aplicação.

Neste contexto, é importante referir quais são os diferentes recursos energéticos existentes. Poderão ser divididos em dois grupos, os recursos energéticos não renováveis e os renováveis.

As energias não renováveis são representadas pelos combustíveis fósseis, dos quais se podem destacar o petróleo, o carvão e o gás, bem como a energia nuclear. Devido a elevada procura e as incertezas em termos de reservas, o preço da matéria-prima das energias não renováveis é inflacionado. Outro ponto negativo desses recursos é as elevadas taxas de poluição associadas, em termos de dióxido de carbono emitido para a atmosfera, contribuindo assim para o aquecimento global. Em termos de energia nuclear, o impacto ambiental dos seus resíduos radioactivos é muito preocupante, pelo que se trata de uma energia, à semelhança das energias fósseis, não sustentável.

Por outro lado, as energias renováveis são recursos praticamente inesgotáveis, apresentando um impacto ambiental muito reduzido comparativamente com os combustíveis fósseis. De acordo com a Directiva 2011/77/EC, de 27 Setembro 2011, as fontes de energias renováveis definem-se como sendo “todos os recursos energéticos sem origem fóssil, tais como o vento,

o sol, a geotermia, as ondas/marés, a hidroenergia, a biomassa”, entre outros (Directive 2001/77/EC, 2001).

Logo, os principais tipos de energias renováveis são os seguintes:

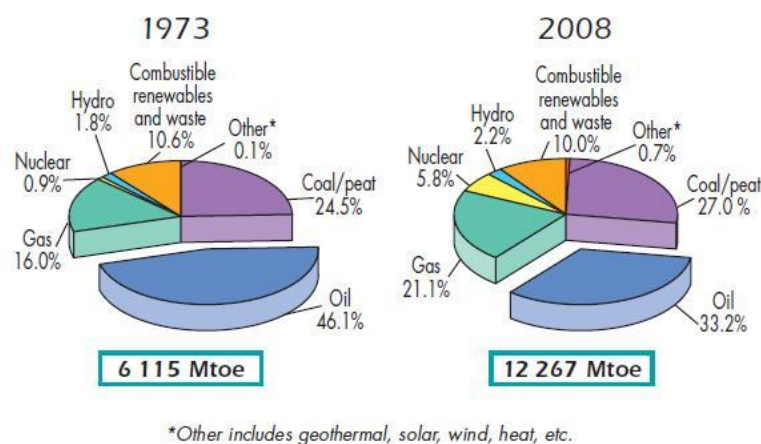
- Energia Solar (Térmica e Fotovoltaica)
- Energia Eólica
- Energia Hídrica
- Biomassa
- Energia Geotérmica

(Wikipedia *Énergie Renouvelable*, 2011)

As energias renováveis representam um poder significativo em termos de energia, mas com um aproveitamento insuficiente. O sol, o vento e a água, entre outros, fontes de energia inesgotáveis, representam um futuro sustentável. O sol por exemplo, é o símbolo de uma energia totalmente gratuita e com um potencial enorme, onde através de diversas tecnologias, consegue-se converter a energia solar em energia eléctrica e energia térmica. O potencial da energia solar pode ser representado pelo facto de produzir, no espaço de tempo de uma hora, uma quantidade de energia superior à consumida pelo mundo inteiro, anualmente (Proença, 2007).

### **1.1.2 Panorama Energético Mundial e a sua Evolução.**

As formas de energia primárias utilizadas no nosso Planeta são várias, sendo que as mais utilizadas são as energias fósseis, tais como o carvão e o petróleo, energias extremamente poluidoras que contribuem para as emissões de gases a efeito de estufa (GEE). As energias fósseis continuam a representar acima de metade do consumo energético mundial, apesar do crescimento das energias renováveis na última década. Salienta-se o facto do crescimento geral do consumo de energia no mundo ter duplicado em 35 anos, entre 1873 e 2008.

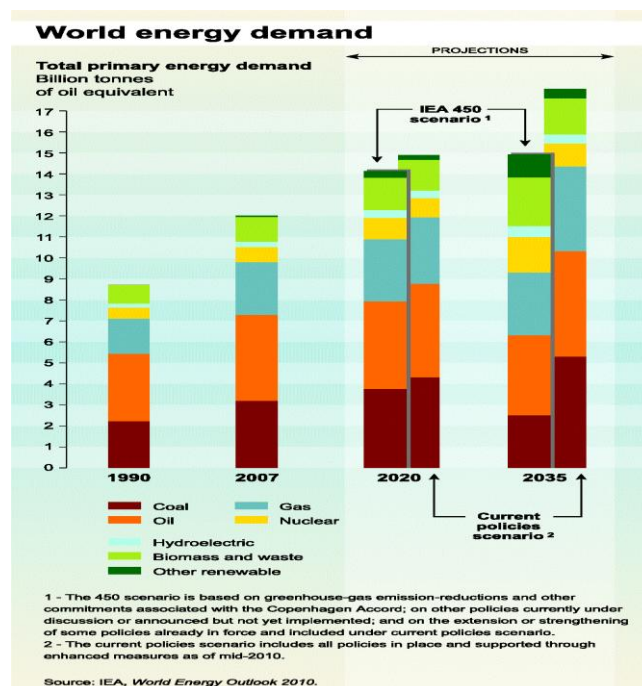


**Figura 1.1 - Desagregação dos diferentes tipos de energias utilizados no Mundo, em 1973 e 2008. Fonte: AIE.**

As energias renováveis, a nível mundial, representaram cerca de 13% do consumo total de energia primária em 2008. No entanto, o sol, a água e o vento representam somente uma porção ínfima das energias renováveis. Fazendo uma análise crítica, trata-se de um dado controverso, não se podendo considerar que a produção de energia através da incineração de resíduos, na maioria provenientes do petróleo, possa ser considerada uma fonte de energia renovável, como é explícito na Directiva 2011/77/EC da União Europeia (Directive 2001/77/EC, 2001).

Numa perspectiva de futuro, existem projecções para os próximos anos que revelam que o consumo energético mundial irá continuar a aumentar, prevendo-se um aumento significativo, na ordem dos 36% até 2035. Os países em via de desenvolvimento, nomeadamente asiáticos, irão contribuir para o aumento drástico do uso de energias fósseis, prevendo-se que, no horizonte de 2035, apesar da crise petrolífera, as energias fósseis continuarão no topo da hierarquia das fontes de energia. É importante mencionar que são construídas actualmente cerca de duas centrais de carvão por semana na China (Arthus-Bertrand, 2009), alertando desta forma para um futuro sustentável em perigo pelo mercado direccionado para energias fósseis. O cenário IEA 450 promovido pela Agência Internacional de Energia, pretende que serão tomadas diversas medidas de forma a estabilizar a concentração dos GEE além de manter o aumento de temperatura global nos 2°C (Schuttenhelm, 2010).





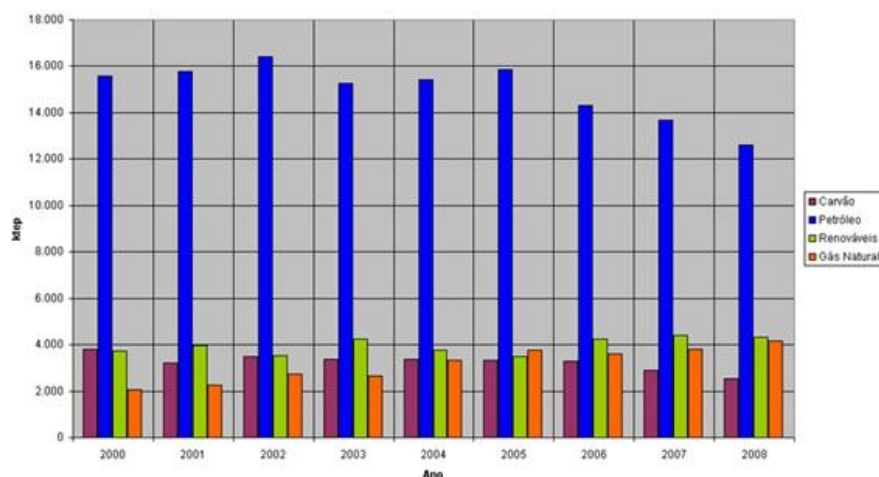
**Figura 1.2 - Projecção até 2035 do consumo energético mundial. Fonte: AIE.**

Sendo assim, num panorama mundial virado para energias fósseis, mas onde a sociedade está cada vez mais preocupada com o desenvolvimento sustentável, as energias renováveis aparecem como sendo uma alternativa as energias fósseis, oferecendo um grande desafio para as próximas décadas.

### 1.1.3 Mercado Energético em Portugal

Em Portugal, a escassez de recursos naturais de tipo fósseis, tais como o petróleo, carvão e gás, leva a uma elevada dependência energética vindo do resto do mundo, sendo que em 2008, cerca de 83% das fontes de energias primárias em Portugal eram importadas e provenientes de energia fóssil (DGEG, 2008).

A semelhança do que acontece no resto do mundo, Portugal é um país totalmente dependente do petróleo, representando, em 2008, 51,6% do consumo total de energia primária. No entanto, o petróleo tem um uso maioritário no sector dos transportes, tendo impactes menores nos outros sectores, tais como indústrias e residências. O impacto do petróleo nos transportes deve-se ao facto de existirem poucas alternativas, tendo as energias renováveis um impacto quase nulo nesse sector (DGEG, 2008).



**Figura 1.3- Evolução do Consumo de Energia Primária em Portugal. Fonte: DGGE.**

Nota-se um decréscimo do uso do Petróleo em Portugal desde 2005, mas, esse decréscimo é compensado pelo aumento do uso do gás natural.

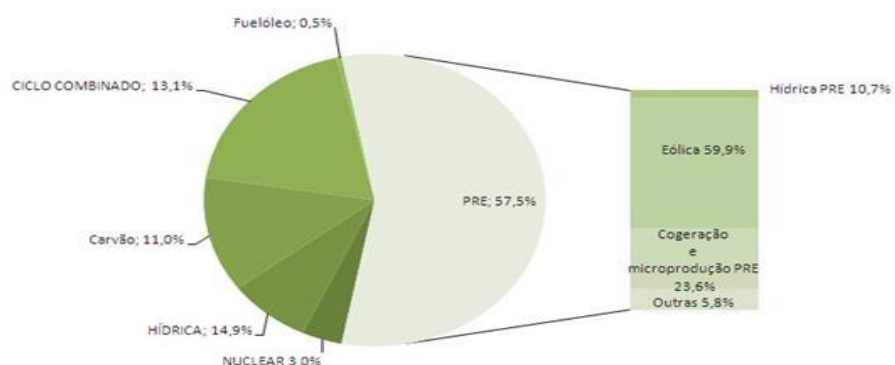
De par as suas características extremamente poluidoras em termos de emissões de CO<sub>2</sub>, o carvão tende a diminuir ao longo dos próximos anos, sendo substituído pelas energias renováveis que estão em claro crescimento.

A escassez em recursos naturais em Portugal levam a um interesse, tanto económico como ambiental, para uma progressiva mudança das fontes de energia fósseis para energias renováveis, tais como energia hídrica, eólica e solar, nomeadamente, por serem recursos abundantes no nosso território. O objectivo será diminuir as importações de energia primária.

Em Portugal, o consumo total de energia eléctrica, em 2010, foi de 52,2 tWh (DGEG, 2010). Em termos de energias renováveis, a potência instalada ao longo dos últimos anos tem vindo a crescer de uma forma significativa desde 2005, nomeadamente no mercado da energia eólica, com fortes incentivos governamentais. No entanto, a energia hídrica continua no topo da hierarquia das energias renováveis com cerca de 4500 MW de potência instalada (DGEG, 2009).

No âmbito desta dissertação, importa referir que em termos de energia fotovoltaica, a potência instalada duplicou entre 2008 e 2009, passando a ter 115,20 MW de potência instalada (DGEG, 2009). Em 2010, foram atingidos os 150 MW de potência instalada, prevendo que, até 2020, a potência seja aumentada em dez vezes, passando para 1500 MW (MEID, 2010). É importante referir o importante crescimento da área do fotovoltaico, tendo quase atingido em 2010 os valores expectáveis pelo PNAEE para 2012.

Segundo o principal fornecedor de energia eléctrica em Portugal (EDP), as energias renováveis representam cerca de 57,5 % da produção total de energia eléctrica, pelos dados obtidos em Dezembro 2010 (EDP Serviço Universal, 2010).



**Figura 1.4 - Repartição por tecnologia da energia comercializada pela EdP Serviço Universal em Dezembro de 2010. Fonte: EDP Serviço Universal.**

#### 1.1.4 Políticas Ambientais

A nível internacional é importante mencionar o Protocolo de Quioto, que visa lutar contra as alterações climáticas. O principal objectivo consiste na redução de 5,2%, relativamente aos níveis do ano 1990, das emissões de gases a efeito de estufa até 2012, para todos os países que se comprometeram com o Protocolo, incluindo Portugal (Kyoto Protocol, 1998). O Protocolo de Quioto permitiu a criação do Mercado do Carbono, que consiste na compra de créditos de carbono a países em desenvolvimento (principalmente), com menores impactes ambientais, podendo desta forma “vender” GEE a outros países, com intuito de dinamizar a economia mundial.

No seguimento do Protocolo de Quioto, imensos países comprometeram-se através do Acordo de Copenhaga em reduzir significativamente as suas emissões poluentes, em Dezembro 2009, reforçando desta forma a preocupação ambiental do Planeta (Copenhagen Accord, 2009).

Para fazer face as alterações climáticas, em Portugal, o mercado das energias renováveis tem vindo nos últimos anos, através do Plano Estratégico Nacional para a Energia, nomeadamente com o Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE) de 2008, a desenvolver-se de uma forma notável, através de diversos incentivos governamentais. O objectivo do PNAEE consiste em reduzir as emissões de GEE em 1% ao ano até 2015.

No seguimento das políticas mencionadas acima, o principal destaque, no intuito do trabalho elaborado, é o aparecimento do Programa Renováveis na Hora através do Decreto-Lei 363/2007 de 2 Novembro, com o intuito de “promover a substituição do consumo de energia fóssil por energia renovável pela maior facilidade de acesso as tecnologias de microgeração de energia eléctrica e de aquecimento solar de águas quentes sanitárias”.

Neste contexto, a política ambiental em Portugal está com uma grande aposta na energia solar no futuro, no seguimento do grande investimento na energia eólica na última década.



**Figura 1.5 - Vagas de Desenvolvimento da Política de Energias Renováveis em Portugal.**  
*Fonte: MEID, DGEG.*

## 1.2 Motivação

Perante uma situação ambiental com sinais alarmantes e com maior frequência, a necessidade de reduzir os consumos de energia no Planeta é importante. O desafio das alterações climáticas representa hoje, certamente, a maior preocupação para todas as economias mundiais no futuro. Desta forma, é necessário reduzir drasticamente o consumo excessivo de energia nos países desenvolvidos, bem como alterar a forma de produção de energia, passando para energias renováveis, reduzindo assim as emissões de gases de efeito de estufa e dependência dos combustíveis fósseis.

A energia solar, em particular através do aproveitamento da mesma para produção de electricidade, pela tecnologia fotovoltaica, assume-se como uma alternativa aos sistemas convencionais, na maioria provenientes de energia fóssil. Actualmente, a energia solar, tanto pelo fotovoltaico como térmico, tem sofrido um crescimento notável, principalmente em

países com índices de radiação solares apreciáveis, na qual Portugal se insere. É importante referir que Portugal tem uma das melhores insolações de toda a Europa, pelo que o potencial da energia solar é imenso.

A tecnologia fotovoltaica pode ser utilizada em grande ou pequena escala. Actualmente, o aproveitamento da Energia Solar é cada vez mais utilizado, tanto para centrais de grande escala, com potências podendo atingir valores acima dos 100 MW, como para efeito de microgeração com aplicação numa grande variedade de edifícios, tanto particulares como públicos e empresariais.

Em termos económico, a energia solar permite a redução de emissões de gases a efeito de estufa, respeitando assim os limites estipulados pelo Protocolo de Quioto e pela União Europeia. Desta forma, são efectuadas poupanças significativas, diminuindo nomeadamente a necessidade de recorrência ao Fundo Português de Carbono.

Para cumprimento destes objectivos, a microgeração com recurso a energias renováveis aparece como uma solução viável, incentivando a produção de electricidade em baixa tensão por particulares. Financeiramente, a microgeração, pela aplicação do regime bonificado do DL 363/2007, alterado pelo DL nº118-A/2010, permite períodos de retorno interessantes, tornando-se assim um bom investimento. O crescimento da área do fotovoltaico nos últimos anos, levou a criação de uma concorrência cada vez mais importante no sector, tornando os investimentos iniciais bastante mais competitivos. A baixa dos preços dos materiais para sistemas de energias renováveis levou também a redução do investimento inicial para instalação de um sistema de microgeração. Logo, a energia solar tornou-se uma oportunidade de negócios, tanto para particulares como para empresas.

Na presente dissertação, pretende-se reunir toda a informação técnica e económica inerente a instalação de um sistema de microgeração, oferecendo desta forma uma base de dados sobre a viabilidade técnico-económica de sistemas de microgeração através da energia solar.

### **1.3 Estrutura**

A presente dissertação encontra-se estruturada em sete Capítulos distintos, onde o primeiro Capítulo é a parte introdutória.

No segundo Capítulo é apresentado o conceito do fotovoltaico, o seu funcionamento, impactes ambientais e vantagens/desvantagens. Foi também efectuada uma análise SWOT.

No terceiro Capítulo é explicado de que forma é possível se tornar microprodutor de electricidade com base na legislação em vigor, e em que consiste a microprodução de electricidade.

O quarto Capítulo consiste na análise técnica de uma instalação de microgeração com recurso a tecnologia fotovoltaica.

No quinto Capítulo serão apresentados casos práticos de instalação de microgeração fotovoltaica, bem como a apresentação de diferentes níveis de produção de energia com microgeração em diferentes locais de Portugal.

O sexto Capítulo consiste na análise da viabilidade económica dos casos práticos apresentados.

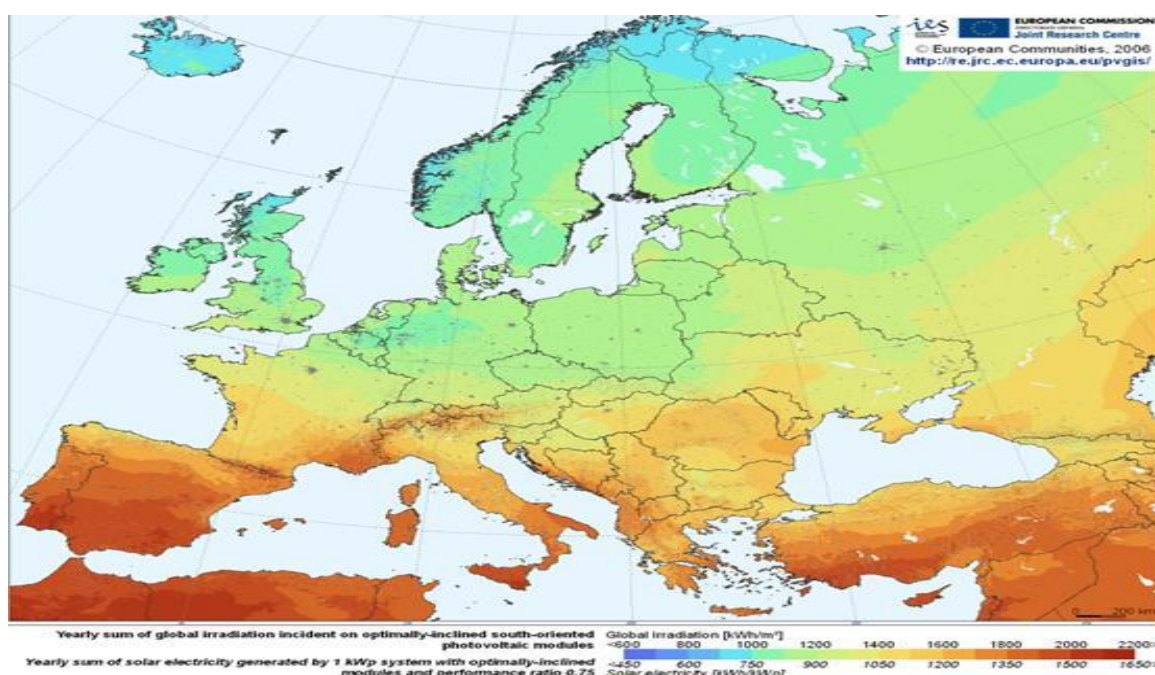
Por último, no Capítulo 7, serão apresentadas as diversas conclusões obtidas através da presente dissertação.

## Capítulo 2

### 2. Energia Fotovoltaica

O sol representa um grande potencial de energia renovável, sobretudo em zonas do planeta entre os trópicos do Câncer e do Capricórnio, oferecendo grandes taxas de insolação e, assim, grandes oportunidades de aproveitamento da energia proveniente do sol. Os domínios de aplicação poderão ser, quer em casa de particulares por microgeração quer em grandes centrais fotovoltaicas com capacidade de produção de energia eléctrica significativa.

Em Portugal, os índices de insolação são dos mais elevados da União Europeia, com valores de produção podendo atingir os 1600 a 2200 kWh/m<sup>2</sup> como se pode comprovar na figura 2.1. Juntamente com países como a Espanha, Grécia e Itália, Portugal apresenta um forte potencial para produção de energia solar fotovoltaica.



**Figura 2.1 - Potencial do Fotovoltaico na Europa. Fonte: EU, Joint Research Centre.**

Desta forma, tem todo o interesse o aproveitamento da energia solar em Portugal, numa perspectiva de desenvolvimento sustentável e oportunidades económicas futuras.

## **2.1 O Fotovoltaico**

### **2.1.1 Breve História**

O efeito fotovoltaico foi descoberto pelo francês Edmund Becquerel em 1839. Desde então, sucessivos cientistas deram um contributo de forma a melhorar a tecnologia, através da descoberta de vários materiais condutores de electricidade, como o selénio em 1873, até a realização da primeira célula solar de silício monocristalino em 1954. O grande impulso dado pela crise petrolífera de 1973 levou a um grande investimento em termos de investigação permitindo, além de encontrar novas matérias, reduzir os custos de produção das células solares (Proença, 2007). Actualmente, o mercado do fotovoltaico está em grande expansão traduzindo-se por uma grande investigação científica na área.

### **2.1.2 O Efeito Fotovoltaico**

A palavra Fotovoltaica pode ser dividida em duas partes para uma melhor percepção do significado da mesma. A palavra “foto”, derivada do Grego, tem como significado a “luz”, enquanto a palavra “volt” está relacionada com o cientista Alessandro Volta, que ficou especialmente conhecido por ser pioneiro na electricidade (Dias, 2010).

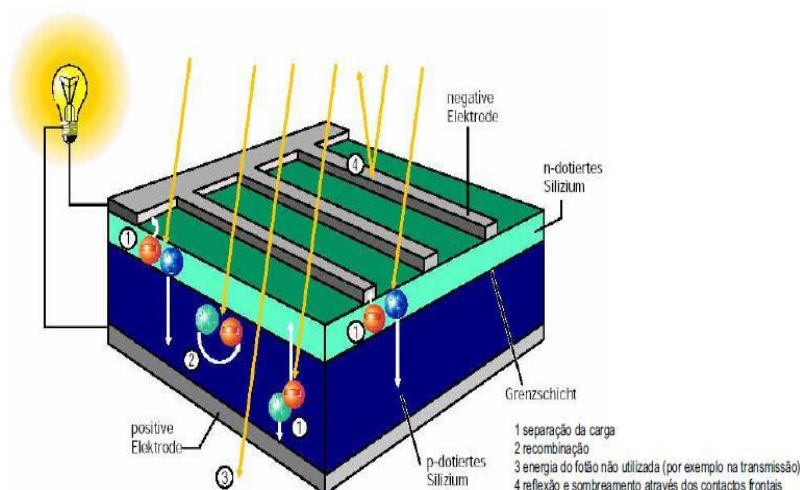
Neste âmbito, é importante compreender como se consegue converter energia solar em energia eléctrica pelo efeito fotovoltaico.

Por definição, o fotovoltaico (PV ou FV) significa a “transformação directa da luz em energia eléctrica, recorrendo-se a células solares” (Energia Fotovoltaica, 2004). Para tal, são utilizados vários materiais semi-condutores que constituem as células solares, cujo mais conhecido é o silício. Este é um material isolante e condutor (Solarterra, s.d), que se encontra com grande facilidade na crosta terrestre, sendo esta constituída por 27,7% de Silício (Peixoto, 2001). As células de silício são as mais comuns, representando cerca de 90% do mercado. No entanto, matérias como o arsenieto de gálio, teluriato de cádmio ou disselenieto de cobre são também utilizados.

O efeito fotovoltaico é gerado a partir de uma célula solar. Através do seu material semicondutor (silício ou outros), esta carrega-se electricamente quando é submetido a luz solar. O cristal de silício puro é um mau condutor eléctrico pelo que se acrescenta substâncias



dopantes que permitem aumentar a eficiência da conversão da radiação solar em potência eléctrica (Proença, 2007). O fósforo e o boro são utilizados como materiais dopantes para células solares de silício, obtendo-se assim um material com electrões livres (silício tipo N) e outro material com cargas positivas livres (silício tipo P), respectivamente (Solarterra, s.d). Assim, uma célula solar é composta por uma camada de tipo N e outra de tipo P, sendo que a camada P possui sempre uma espessura maior e onde é gerado um campo eléctrico na zona de união entre as duas camadas N e P (Solarterra, s.d).



**Figura 2.2 - Estrutura e função de uma célula cristalina solar. Fonte: (Energia Fotovoltaica, 2004)**

Com a incidência de luz na célula, cada fóton com energia suficiente liberta um electrão transformando-o em condutor. Devido ao campo eléctrico gerado na união P-N, os electrões são orientados da camada P para a camada N, onde, através de um condutor externo, as camadas positivas e negativas ligam-se e geram uma corrente eléctrica, que corresponderá ao fluxo de electrões na ligação.

### 2.1.3 Tipos de Células e Módulo Fotovoltaico.

Existem diferentes tipos de células fotovoltaicas, das quais se destacam três tipos:

- Células de silício cristalino (1ª geração)
- Células de película fina (2ª geração)
- Células de 3ª geração

As células de 1ª geração ainda são actualmente as mais utilizadas, com cerca de 90% do mercado. O silício monocristalino é o mais utilizado e também o mais antigo. Recentemente,

apareceram células de silício multicristalino, no entanto, apesar de terem um preço mais competitivo, carecem de problemas de performance, ligados nomeadamente à eficiência deste tipo de células, apresentando valores típicos na ordem dos 12% a 15%, contra 15% a 18% para células de silício monocristalino (Energia Fotovoltaica, 2004).

As células de película fina, ditas de 2ª geração, apareceram há cerca de 30 anos e são constituídas por materiais diferentes, com o intuito de reduzir a utilização do silício. A principal tecnologia das células de 2ª geração é a do silício amorfo. Apresentam valores de eficiência relativamente mais baixos que as células de 1ª geração, tendo eficiências na ordem dos 5% a 7%. A grande vantagem reside no seu baixo custo devido aos menores consumos de energia e matérias-primas (Energia Fotovoltaica, 2004).

Finalmente, as células de 3ª geração são novas células, ainda em fase de investigação e desenvolvimento. Esperam-se obter tecnologias com custos reduzidos e eficiências altas. As novas tecnologias são as células microcristalinas, micromorfas e as células solares HCl, entre outras. As novas células híbridas, tais como as células solares HCl apresentam eficiências na ordem dos 17% (Energia Fotovoltaica, 2004).

Uma célula individual é a base de um sistema fotovoltaico. No entanto, uma célula fotovoltaica tem uma potência muito reduzida, com cerca de 1,5W de potência para uma tensão de 0,5 volts. Portanto, de forma a disponibilizar potências elevadas, são reagrupadas várias células em série ou em paralelo, constituído então um módulo ou painel fotovoltaico (Energia Fotovoltaica, 2004). As ligações em série aumentam a tensão disponibilizada, enquanto as ligações em paralelo aumentam a corrente eléctrica. Geralmente um módulo fotovoltaico é composto entre 30 a 36 células solares em série (Energia Solar Fotovoltaica, s.d)..

Um painel fotovoltaico deverá ser bastante resistente a factores externos, tais como condições climáticas e deve obedecer a normas de segurança. Para tal, os módulos deverão possuir uma estrutura rígida e resistente, bem como serem isolados electricamente (Solarterra, s.d).

#### **2.1.4 Os Diferentes Sistemas Fotovoltaicos.**

A energia fotovoltaica pode ser explorada em qualquer sítio, seja num lugar isolado como no meio de uma grande cidade, com uma grande aplicabilidade em edifícios ou no solo, por exemplo. Portanto, o potencial do fotovoltaico pode ser utilizado de diferentes maneiras, quer

em zonas isoladas com sistemas autónomos para consumo próprio de electricidade, quer com sistemas para ligação à rede eléctrica.

Os sistemas autónomos não necessitam de uma rede eléctrica, oferecendo uma grande oportunidade para países em via de desenvolvimento, em zonas isoladas. O continente africano, por exemplo, tem um grande potencial energético através do fotovoltaico. Neste tipo de sistemas, é necessário uma central de baterias de forma a armazenar toda a energia produzida no local. No entanto, é cada vez mais comum ver sistemas autónomos de baixa potência em dispositivos eléctricos dispersos em estradas ou meio urbano por exemplo, não necessitando de um número elevado de baterias.

Os sistemas ligados à rede eléctrica representam hoje a grande maioria do mercado. Os sistemas têm um grande leque de aplicabilidade em edifícios ou outras estruturas. No caso de sistemas de produção de dezenas ou centenas de megawatts, estas são pousadas maioritariamente no solo, cobrindo áreas significativas, cuja produção é exclusivamente para abastecimento da rede eléctrica. Na generalidade, os sistemas ligados a rede eléctrica poderão ser divididos em sistemas de microgeração, mini-centrais fotovoltaicas e centrais fotovoltaicas, por ordem crescente de potência instalada.

Os sistemas fotovoltaicos com ligação a rede e autónomos podem ser sistemas fixos ou sistemas por seguidor solar - *tracker*. Os sistemas fixos são os mais utilizados, sendo instalados usualmente em telhados e no solo, com os painéis fotovoltaicos assente numa estrutura. Os seguidores solares têm a característica particular de poderem seguir o movimento do Sol, de Nascente a Poente, conseguindo desta forma, aumentar a produtividade em energia eléctrica. Os seguidores solares são sistemas mais complexos, que necessitam de pequenos motores eléctricos e de uma estrutura móvel onde os painéis estão assentes.

### **2.1.5 Impactes Ambientais**

A produção e o consumo de energia ligadas as actividades humanas têm um impacte ambiental. Os impactes no ambiente variam consoante a energia utilizada, ou o tipo de consumo, e poderão ser em alguns casos irreversíveis.

Neste âmbito, o fotovoltaico é considerado uma energia renovável, pelo que o seu impacte ambiental será muito menor do que uma energia fóssil. Apesar de não ser emitida qualquer poluição aquando da geração de electricidade pelos painéis fotovoltaicos, os impactes ambientais estão ligados ao processo de fabrico e ao tratamento do sistema no final de vida.

Estima-se que o tempo de retorno da energia despendida no processo de produção das células solares varia entre 1,36 e 4,70 anos (Photovoltaïque, 2009), dependendo da localização do sistema fotovoltaico. Regra geral, são estimados três anos para devolver a energia utilizada no fabrico dos painéis fotovoltaicos, assumindo-se também que a redução de dióxido de carbono em relação a uma central térmica convencional (carvão, gás, petróleo) é de cerca de 20% (Portal Energia, 2009).

Salienta-se que para produzir células solares, é necessário despendar quantidades de energia significativas. No caso do silício, tendo um ponto de fusão de 1410°C (Peixoto, 2001), é perceptível a quantidade energética necessária para ser atingida a temperatura de fusão. Para além do processo de fusão, são utilizados produtos químicos tóxicos no fabrico dos módulos fotovoltaicos, prejudiciais para o ambiente e para a saúde humana.

Durante o seu tempo de vida, o impacto ambiental está limitado ao aspecto visual da instalação, podendo também causar uma possível alteração dos ecossistemas locais quando se trata de grandes centrais fotovoltaicas. No entanto, trata-se de impactos bastantes reduzidos.

Por fim, o grande problema ambiental juntamente com o processo de fabrico dos painéis fotovoltaicos, é o tratamento dos resíduos no seu fim de vida. No entanto, é possível reciclar e reutilizar os materiais utilizados, com uma pequena percentagem de resíduos sem utilização. O silício por exemplo, consegue ser recuperado para ser reintegrado para produção de novas células, depois de uma separação e tratamento adequado (Photovoltaïque, 2009).

#### **2.1.6 Vantagens e Desvantagens**

A microgeração oferece diversas vantagens e desvantagens. No entanto, nota-se claramente que as vantagens serão muito mais apelativas, sendo uma tecnologia renovável, levando a impactos económicos significativos e impactos ambientais reduzidos, quando comparada com energias fósseis.

As vantagens de um sistema de microgeração podem ser divididos em duas partes, uma parte energética e ambiental e outra socio-económica,

Em termos energéticos e ambientais, a grande vantagem de um sistema fotovoltaico reside na redução da dependência energética nacional por se tratar de um recurso endógeno. Pela instalação de microgeração com sistemas fotovoltaicos, prevê-se que a energia resultante seja consumida no local de produção ou próximo do local. Estas características terão

consequências positivas nas perdas de energia que serão evitadas na rede de transporte, garantindo maior segurança de abastecimento e redução da factura energética dos consumidores de serviços e residenciais, pela própria poupança que será efectuada nos investimentos de infra-estruturas de rede eléctrica, nomeadamente. Desta forma, é criada uma forma mais íntima do consumidor com a energia. Adicionalmente, por se tratar de uma energia renovável, consideram-se as emissões de dióxido de carbono nulas, baixando então as emissões de GEE e por consequente ajudando a atingir as metas impostas pelo Protocolo de Quioto. As poupanças de emissões de gases a efeito de estufa são estimadas na ordem dos 325 kg de CO<sub>2</sub> por ano, por cada kWp instalado (DGEG, 2008).

Por outro lado, existem vantagens em termos de manutenção dos sistemas fotovoltaicos, tendo custos bastante reduzidos e com materiais com tempos de vida alargada. Por fim, não existem quaisquer tipos de cheiros ou de ruídos associados.

As vantagens socioeconómicas associadas aos sistemas fotovoltaicos residem principalmente no desenvolvimento de uma indústria especializada na área, criando imensos postos de trabalho na instalação e manutenção dos sistemas, entre outros. Como referido anteriormente, prevê-se uma diminuição das emissões de GEE, o que irá levar a uma redução na importação da energia e do pagamento dos créditos de carbono. Finalmente, a contribuição de forma individual de cada lar pela instalação de uma microgeração, leva a uma melhor consciencialização dos problemas ambientais que o Planeta enfrenta.

Relativamente às desvantagens, estas são quase todas devidas ao processo de fabrico e aos impactes ambientais associados. Em termos económicos, o elevado custo de uma instalação é algo problemático, no entanto, pelos diversos incentivos governamentais, tudo tem sido convertido numa vantagem. Outro ponto negativo é o fraco rendimento das células solares, na ordem dos 15%, comparativamente com combustíveis fósseis. Por fim, os sistemas fotovoltaicos, estando ligados à luz solar, só poderão produzir electricidade em horas de sol, tendo algumas desvantagens em certos locais do Planeta e, obviamente, as taxas de produção serão nulas durante a noite. Trata-se de uma desvantagem significativa comparativamente a outro recurso renovável, o vento.

## 2.2 Competitividade do Fotovoltaico: Análise SWOT

Estando o mercado das energias renováveis em plena expansão, é importante estudar a competitividade da tecnologia fotovoltaica, de forma a realçar melhorias que poderão ser feitas num futuro próximo.

A competitividade da energia solar através da tecnologia fotovoltaica pode ser estudada fazendo uma análise SWOT, onde serão identificadas as Forças (*Strenght*), Fraquezas (*Weakness*), Oportunidades (*Oportunities*) e Ameaças (*Threat*) aplicadas ao mercado Português.

Para tal, é apresentada uma tabela contendo a análise SWOT da tecnologia fotovoltaica como recurso renovável.

**Tabela 2.1 - Análise SWOT ao Fotovoltaico em Portugal.**

	Positivo	Negativo
Interna (Organização)	<u>Forças do FV</u> <ul style="list-style-type: none"><li>• Excelente exposição solar</li><li>• Incentivos governamentais para desenvolvimento do PV</li><li>• Política da EU para energias renováveis</li><li>• Grande concorrência empresarial</li><li>• Facilidades no registo das instalações de microgeração</li><li>• Fiabilidade do sistema</li></ul>	<u>Fraquezas do FV</u> <ul style="list-style-type: none"><li>• Mercado nacional reduzido</li><li>• Atraso no desenvolvimento</li><li>• Indústria nacional deficiente</li><li>• Experiência do mercado fraca</li><li>• Tecnologia dispendiosa</li><li>• Fraco rendimento da tecnologia, comparativamente com energias fósseis</li></ul>

<b>Externa (Ambiente)</b>	<u>Oportunidades do FV</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interesse em investimentos por multinacionais</li> <li>• Mercado pouco desenvolvido comparando com o seu potencial</li> <li>• Cumprimento de objectivos e metas em termos de emissões de GEE</li> <li>• Perspectiva de um forte crescimento na próxima década</li> <li>• Melhorias na eficiência da tecnologia</li> <li>• Maior concorrência que irá levar a uma baixa dos custos de instalação</li> <li>• Aumento das preocupações ambientais</li> <li>• Novas tecnologias de conversão a serem investigadas</li> <li>• Incentivos políticos</li> </ul>	<u>Ameaças do FV</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparação com outras fontes de energias renováveis (energia eólica, hídrica), em termos de rentabilidade e eficiência</li> <li>• Custos ainda elevados dos sistemas</li> <li>• Concorrência internacional</li> <li>• Produção de produtos tóxicos no processo de fabrico e no tratamento em fim de vida</li> </ul>

Um país como Portugal, que usufrui de insolação muito boa, apresenta-se como um país com um potencial enorme para a energia fotovoltaica. No entanto, existem alguns pontos a serem melhorados, desde logo o aumento das indústrias nacionais capazes de produzir sistemas fotovoltaicos, evitando assim importações. Apesar dos incentivos governamentais terem sido revistos recentemente, é importante rever os objectivos do fotovoltaico, incentivando para o crescimento do sector, com base nas provas já dadas em termos de eficiência energética nacional. Com esse caminho, será evitado o investimento de empresas multinacionais no nosso país, levando a crescimento económico interno.

Torna-se necessária seguir uma estratégia definida que visa a criação de um cluster fotovoltaico com potencial forte a nível mundial. A criação de um cluster fotovoltaico passa pelo investimento na área da investigação que irá permitir melhorias na indústria levando a um mercado e serviços confiantes na tecnologia e com capacidade de desenvolvimento acrescidas.

## Capítulo 3

### 3. A Microgeração Fotovoltaica

A microgeração enquadra-se no Plano Nacional para a Eficiência Energética, tendo sofrido um grande sucesso desde a sua implementação em 2008, promovendo cada vez mais a sua utilização. Neste âmbito, pretende-se com a microgeração alterar o panorama energético português com elevada dependência para o exterior, incentivando, através de várias medidas, a instalação em pequena escala de sistemas de produção de energia eléctrica.

Portanto, a microgeração, ou microprodução, pode ser definida por diferentes formas, como por exemplo:

- “Produção de electricidade ou de calor por intermédio de instalações de pequena potência, designadas unidades de microprodução” (Duarte, 2010)
- “Produção de electricidade e calor em casas individuais” (Dias, 2010)
- “Definida como zero e baixa produção de carbono em escalas menores, com máximo de potência até 50 kW de energia eléctrica e 45 kW de energia térmica” (Dias, 2010)

A microgeração tem vários domínios de aplicabilidade, por diversas fontes de energias renováveis, das quais são incluídas a energia solar, energia eólica, energia hídrica, biomassa e pilhas de combustíveis.

Por fim, a microgeração de energia eléctrica pode ser ligada a Rede Eléctrica de Serviço Público (RESP), para venda da energia produzida ou ser um sistema autónomo. No entanto, no intuito deste trabalho, só se considera a microgeração para venda da energia produzida através da energia solar.

#### 3.1 Como se tornar Microprodutor? – Conjuntura Legislativa Actual

Para se tornar microprodutor de electricidade, é necessário seguir diversos passos, que estão explícitos no programa Renováveis na Hora, cujo objectivo consiste em “promover a substituição do consumo de energia não renovável por energia renovável através da maior facilidade de acesso a tecnologias de microgeração e de aquecimento solar” (Anexo nº



80/2008, 2008). Salienta-se que desde 2007 o programa de microprodução teve um grande sucesso, tendo sido instalado cerca de 19 MW de potência instalada durante os dois primeiros anos. Neste âmbito, através do DL nº363/2007 de 2 Novembro que veio estabelecer o programa Renováveis na Hora, foi criado um regime simplificado aplicável à microgeração com recurso a energias renováveis. Entretanto, o DL 118-A/2010, de 25 de Outubro de 2010 veio alterar alguns pontos do decreto de lei, nomeadamente nas tarifas aplicadas na venda de energia eléctrica à rede pública.

Portanto, para se tornar microprodutor é necessário seguir vários passos que estão explícitos no seguinte esquema de uma forma simplificada. Será explicado em seguida com mais pormenor cada passo do processo.



**Figura 3.1 - Passos principais para se tornar microprodutor de electricidade Fonte: PNAEE.**

O primeiro passo para se tornar microprodutor consiste em efectuar um registo *on-line* no site Renováveis na Hora, onde, pelo Sistema de Registo de Microprodução (SRM) é efectuada a identificação do cliente bem como a potência a ser instalada, mediante o pagamento de uma taxa de 500 €. O SRM, por definição, representa “uma plataforma electrónica de interacção entre a Administração Pública e os produtores, acessível através do Portal Renováveis na Hora”. A potência máxima de ligação será de 5,75 kW para instalações não integradas em condomínios e deverá ser igual ou inferior a 50% da potência contratada referida no contrato celebrado com o fornecedor de energia eléctrica. No caso de condomínios poderá ser instalada uma potência máxima de 11,04 kW. É importante referir que a microgeração aplica-se somente a instalações abastecidas em baixa tensão, monofásica ou trifásica (somente trifásico para condomínios), e poderá ser aplicada para cada Código de Ponto de Entrega (CPE) uma única instalação de microgeração.

O segundo passo consiste na instalação da microgeração, seja ela fotovoltaica, hídrica, eólica, entre outros. Nota-se que a instalação deverá ser efectuada por empresas acreditadas na área.

Em seguida, o terceiro passo consiste na certificação da instalação, onde um inspetor deverá emitir um certificado de exploração caso não exista nenhuma não conformidade. A inspecção tem a particularidade de ser solicitada num prazo máximo de quatro meses depois de se ter efectuado o registo no SRM.

O último passo será, então, o início da venda à rede da energia produzida pela microgeração, sendo celebrado um contrato com o fornecedor de energia. O regime de facturação é simplificado, havendo uma única transacção que corresponde ao valor líquido de energia eléctrica consumida e produzida.

Para efeitos de remuneração da energia produzida, existem dois regimes distintos, sendo eles o regime geral e o regime bonificado. Note-se que o regime bonificado representa a grande vantagem da instalação de uma microgeração.

Sendo assim, o acesso ao regime geral é aplicado a todos os produtores que não obtenham o acesso ao regime bonificado. A tarifa de venda da energia eléctrica será igual ao custo da electricidade aplicada pelo fornecedor de energia eléctrica.

O regime bonificado, muito mais atraente, deverá respeitar o máximo de 3,68 kW (ou 11,04 kW no caso de condomínio) de potência de ligação e permite a venda da energia produzida com uma tarifa bonificada durante 15 anos. É necessário efectuar também a instalação de um colector solar térmico com uma área útil de 2 m<sup>2</sup> ou de uma caldeira a biomassa com produção anual de energia térmica equivalente. A tarifa bonificada aplica-se a diversos tipos de energias renováveis, sendo que a energia solar usufrui de 100% do valor da tarifa, a eólica de 80%, a hídrica de 40% e a cogeração a biomassa de 70%.

Para o regime geral, considera-se o preço médio de compra de electricidade, de cerca 0,11 €/kWh, actualmente, como tarifa de venda a RESP.

No regime bonificado, a tarifa de venda é dividida em dois períodos, sendo o primeiro com a duração de 8 anos e o segundo com a duração de 7 anos, contabilizando assim os 15 anos de acesso a tarifa bonifica. Neste sentido, as tarifas aplicadas são de 0,40 €/kWh e 0,24 €/kWh, respectivamente para o primeiro e segundo período. No entanto, note-se que a tarifa bonificada é reduzida em 0,02 €/kWh anualmente, em ambas as tarifas dos dois períodos mencionados.

É importante referir que o produtor pode passar do regime bonificado para o regime geral a qualquer altura, não sendo obrigatório o cumprimento dos 15 anos de aplicação do regime bonificado. No entanto existe um limite de 2,4 MWh por ano de energia produzida e o acesso ao regime bonificado é limitado aos primeiros 25 MW de potência de ligação autorizados, anualmente.

É importante mencionar que rendimentos inferiores a 5000€ resultante da actividade de microprodução ficam excluídos da tributação em IRS.

Adicionalmente, refira-se que a coordenação do processo de gestão de microprodução é gerida pela Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG).

As unidades de microprodução poderão também ser sujeitas a uma monitorização por parte do Sistema de Registo de Microgeração de forma a serem verificados as condições de segurança da ligação com a Rede Electrica de Serviço Público (RESP), bem como a conformidade com as características explícitas no registo. Este controlo é realizado a pelo menos 1% das instalações registadas, havendo uma selecção por sorteio ou amostragem.

Existem também diversas coimas aplicadas as não conformidades das instalações, podendo atingir valores de 250€ a 40 000€, dependendo da gravidade da situação.

O regime simplificado de microprodução de electricidade descrito acima é legislado pelo Decreto de Lei nº 118-A/2010, de 25 de Outubro de 2010, que consiste numa republicação do Decreto de Lei nº 363/2007 de 2 de Novembro.

Salienta-se que existe, para além dos regimes mencionados acima, um regime destinado às Instituições Particulares de Solidariedade Social (IPSS), denominado o regime IPSS. No entanto, não será efectuada a análise pormenorizada do regime IPSS no âmbito desta dissertação. As grandes diferenças com o regime geral e bonificado estão no facto de poderem usufruir de uma tarifa bonificada diferente e mais atractiva, bem como a possibilidade de instalar uma potência até 5 kW com acesso a tarifa bonificada.

## Capítulo 4

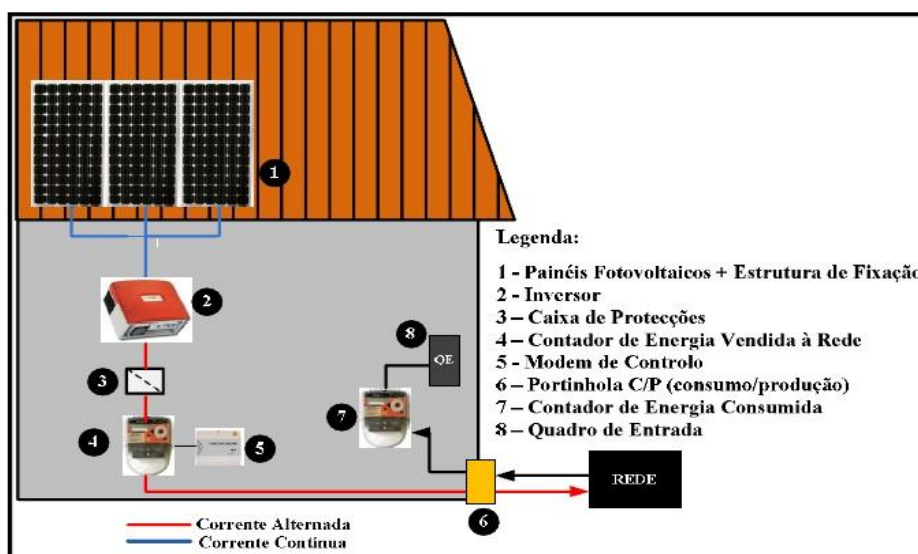
### 4. Análise Técnica de uma Instalação de Microgeração

Nesta secção pretende-se explicar o procedimento em termos técnicos da instalação de uma microgeração fotovoltaica com ligação a Rede Eléctrica de Serviço Público (RESP).

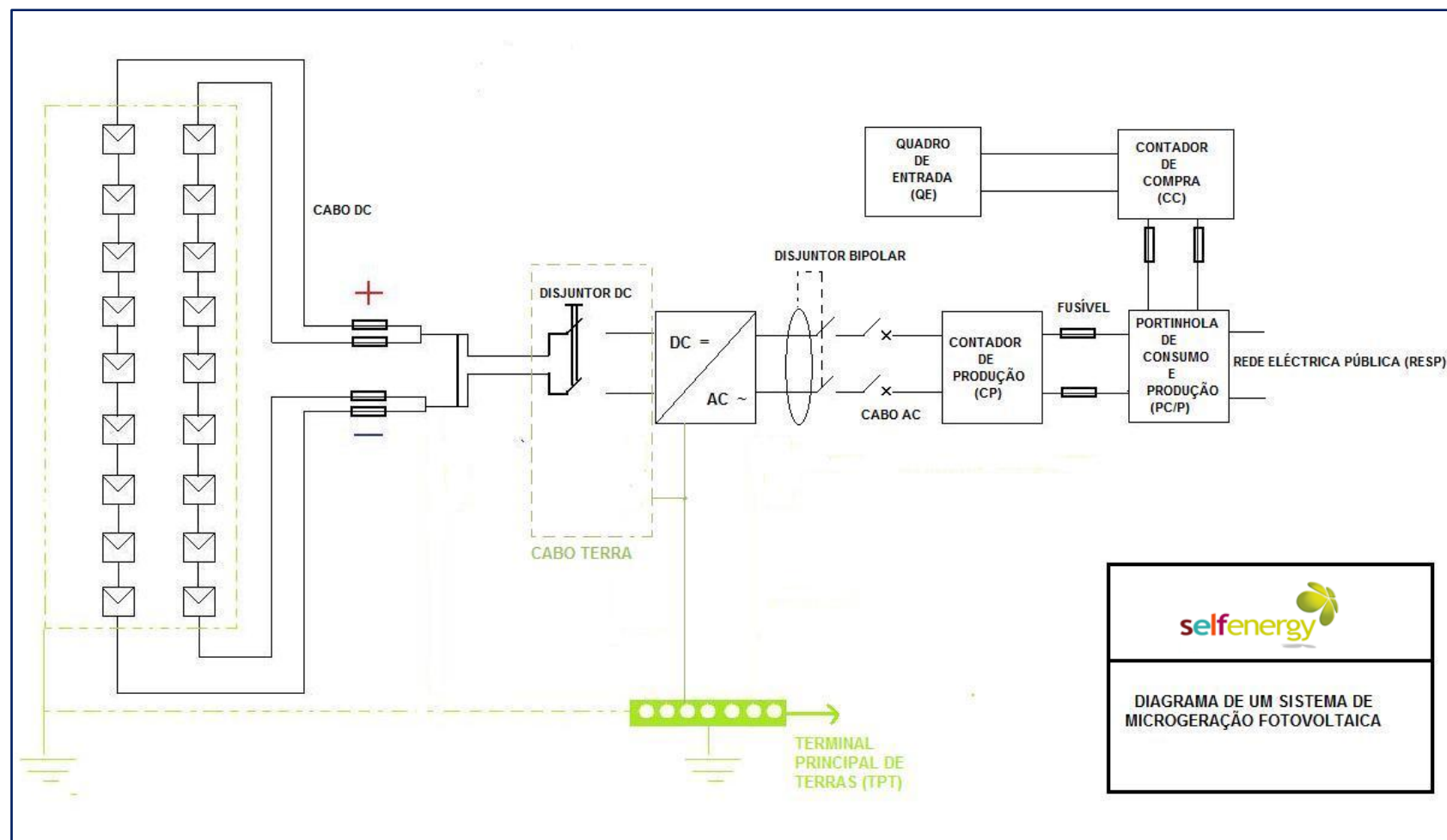
#### 4.1 Microgeração Fotovoltaica com Ligação a RESP

No âmbito da ligação de um microprodutor à RESP, é necessário que a instalação obedeça a diversos factores previstos no Decreto de Lei nº118-A/2010. Todos esses factores devem obedecer à regulamentação imposta pela Direcção Geral de Energia e Geologia, para que a instalação de microgeração possa ser certificada estando assim apta a injectar a energia produzida na RESP. Os dados de ligação a RESP podem ser visualizados no portal Renováveis na Hora, através das diversas soluções de ligação acreditadas.

Em termos técnicos, uma instalação de microgeração pode ser descrita pelas seguintes figuras:



**Figura 4.1 - Sistema de microprodução fotovoltaico com ligação a RESP Fonte: (Agostinho, s.d)**

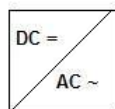


**Figura 4.2 - Diagrama de um sistema de microgeração fotovoltaico (Solução A).**

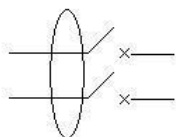
**LEGENDA:**



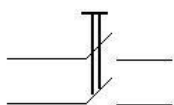
MÓDULO FOTOVOLTAICO



INVERSOR DE CORRENTE CONTÍNUA (DC) PARA CORRENTE ALTERNADA (AC)



DISJUNTOR BIPOLAR DE CORRENTE ALTERNADA (AC)



DISJUNTOR DIFERENCIAL DE CORRENTE CONTÍNUA (DC)



FUSÍVEL



**Figura 4.3 - Legenda do diagrama da Figura 4.2.**

De acordo com o que foi apresentado no diagrama anterior, podem-se considerar como principais componentes de um sistema de microgeração fotovoltaica os seguintes elementos:

- Painéis Fotovoltaicos;
- Inversor;
- Cablagem e Protecção;
- Equipamentos de Contagem.

De seguida serão expostas as funções e as características dos principais equipamentos que compõem um sistema de microgeração fotovoltaico. Através da legenda apresentada nas figuras 4.1 e 4.2, são explicadas a função e as condições gerais de instalação dos principais componentes.

### **1. Painéis Fotovoltaicos e Estrutura de fixação**

Os painéis fotovoltaicos, usualmente, são instalados no telhado dos edifícios, por oferecerem uma inclinação adequada que permite uma produção otimizada, além de se enquadrarem bem na envolvente arquitectónica. Os painéis deverão estar fixos, de forma consistente e segura à estrutura do telhado, ou numa estrutura especial para aplicação no solo ou telhado plano. Recorre-se muitas vezes ao uso de maciços de cimento como pontos de fixação das estruturas em vez de se recorrer directamente a furações na cobertura de telhados planos. É também possível instalar os painéis em terraços, paredes de edifícios, ou então através de uma instalação de seguidor solar – *tracker*.



**Figura 4.4 - Diferentes tipos de aplicação de painéis fotovoltaicos.**

Para haver uma optimização da produção de energia eléctrica, é necessário respeitar certas condições aquando da instalação dos painéis fotovoltaicos, das quais:

- ***Inclinação e Orientação***

A orientação dos painéis fotovoltaicos deverá ser estudada de forma a poder converter a maior quantidade de energia solar possível. Neste contexto, o sul é a melhor orientação no caso do hemisfério norte, e será onde os painéis fotovoltaicos terão a melhor exposição solar, otimizando assim os índices de produção de energia eléctrica. A direcção sul representa o azimuth com declive de 0°. Em Portugal, a orientação óptima será portanto a sul e com um ângulo de 35° de inclinação (Energia Fotovoltaica, 2004). No entanto, em certos casos, esta regra não é respeitada na prática por motivos de dificuldades em termos de instalação, ficando os painéis com algum desvio em relação ao azimuth e com ângulos de inclinação variável consoante a instalação. Neste ponto, a questão do enquadramento estético da solução de microgeração terá sempre algum peso, bem como as questões técnicas relacionadas com dificuldades na instalação e exposição elevada a ventos do norte, que poderão levar a que os equipamentos se danifiquem.

O ângulo de inclinação óptimo poderá ser definido através da seguinte fórmula:

$$\hat{\text{Ângulo de Inclinação}} = \text{Latitude} + 1/3 \text{ Latitude (Portal Energia, 2009)}$$

Alternativamente, podem-se utilizar as regras da seguinte tabela:

**Tabela 4.1 - Ângulos de inclinação para instalação de painéis fotovoltaicos.**

<i>Latitude</i>	<i>Ângulo de inclinação</i>
0° a 4°	10°
5° a 20°	Latitude + 5°
21° a 45°	Latitude + 10°
46° a 65°	Latitude + 15°
66° a 75°	80°

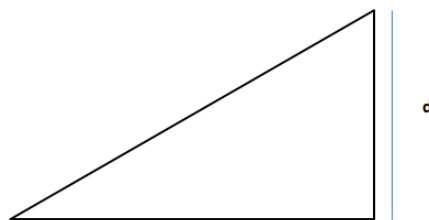
No caso de seguidores solares, estes possuem a característica de poderem seguir a direcção do sol, havendo um controlo automático da orientação, no caso de sistemas com um eixo (seguidor azimuthal), e controlo automático da orientação e inclinação para sistemas de dois eixos (seguidor vertical e horizontal).



- **Sombreamentos**

Os sombreamentos num sistema fotovoltaico podem ter grandes impactes, diminuindo as taxas de produção de energia eléctrica.

Quando os painéis fotovoltaicos são instalados no solo ou em terraço, é necessário providenciar uma certa distância de espaçamento entre as filas de painéis, de forma a não provocar sombras. Como regra prática, deve se respeitar uma distância de **2,5 x d**, onde **d** representa a projecção vertical do painel.



**Figura 4.5 - Vista lateral de um painel fotovoltaico.**

A vegetação e/ou construção envolventes, podem também provocar sombras sobre os painéis. Será necessário ter especial atenção aos sombreamentos provocados nas horas de maior radiação solar para que depois se consiga criar um modelo de simulação o mais aproximado possível da realidade da instalação em causa.

Finalmente, a sujidade nos painéis fotovoltaicos, como folhas ou pó, poderão também provocar baixas de rendimento do sistema. Será portanto necessário efectuar limpezas regularmente. A limpeza dos painéis poderá ser feita com água mas deverá ser efectuada em alturas em que a temperatura nos mesmos seja baixa para não quebrarem devido ao choque térmico. O sugerido nestes casos são o início da manhã ou então o fim da tarde, alturas em que a temperatura na superfície dos painéis já é bastante inferior ao registado noutros períodos do dia.

## **2. Inversor**

Para compreender a função de um inversor, é necessário ter a noção de que os painéis fotovoltaicos produzem corrente contínua, enquanto a corrente eléctrica injectada na RESP é uma corrente alternada. Portanto, o inversor consiste numa aparelhagem capaz de transformar corrente continua (CC ou DC) em corrente alternada (CA ou AC).

O inversor, que neste caso será um inversor DC/DC, consiste em ajustar a tensão de saída dos painéis de modo a que o funcionamento do sistema a saída seja processado à potência máxima permitida (MPP – *Maximum Power Point*). Ressalva-se que existem perdas na ordem dos 5% aquando da conversão, dependendo do tipo de conversor utilizado (Castro, 2002).

O inversor deverá ser colocado o mais próximo possível do campo fotovoltaico, de forma a serem minimizadas as perdas através do cabo eléctrico principal DC.

### **3. Caixa de protecções**

As caixas de protecções são constituídas por disjuntores que permitem isolar electricamente o sistema a jusante e montante. Existem duas caixas de cortes, sendo elas a caixa de corte DC (situada antes do inversor) e caixa de corte AC (situada depois do inversor). Elas são especialmente importantes em caso de manutenção do sistema.

Em algumas situações o próprio inversor já integra um corte DC, sendo redundante a sua colocação em situações nestes casos.

### **4. Contador de Produção (CP), Contador de Consumo (CC) e Portinhola**

Numa instalação de microprodução deverão existir dois contadores, um de produção e outro de consumo, e uma portinhola, sendo esta última uma imposição por parte da entidade responsável pela rede pública (EDP Distribuição).

Os contadores de consumo e produção permitem, respectivamente, efectuar a contagem da energia eléctrica consumida e produzida na instalação. Usufruem também de uma ligação GSM que permite enviar os dados directamente ao fornecedor de energia eléctrica (telecontagem). A portinhola representa a fronteira entre a rede eléctrica de baixa tensão e a instalação de microgeração, e consiste numa caixa de fusíveis que regula a corrente entre a rede eléctrica e a instalação. Nas instalações mais actuais já existem as denominadas portinholas de consumo (PC). No caso de instalações que necessitem de colocar uma nova portinhola, esta será específica para microprodução e denomina-se por portinhola de consumo e produção (PC/P).

## 5. Cabos eléctricos

Pelas características de um sistema fotovoltaico, e pelas diferentes correntes produzidas (contínua e alternada), é necessário a presença de diferentes cabos eléctricos que possam suportar diferentes tensões e correntes. Serão, portanto, necessários cabos DC e cabos AC.

A variação da secção dos cabos e do comprimento dos mesmos, com base na tensão, está mencionada na seguinte tabela:

**Tabela 4.2 - Secção dos cabos utilizados numa instalação de microprodução. (Nogueira, s.d)**

Comprimento	Tensão 12 Volt	Tensão 24 V
Metros (m)	Secção (mm <sup>2</sup> )	Secção (mm <sup>2</sup> )
5	4	2,5
10	10	4
15	10	6
20	15	10
25	15	10
30	25	10
35	25	16
40	35	16

Em regra geral, a secção de cabos da baixada dos módulos fotovoltaicos será de 10 mm<sup>2</sup> e da linha principal de 6 mm<sup>2</sup>. As restantes derivações terão uma secção de 25 mm<sup>2</sup>.

Deverão, sempre que possível, serem minimizados as extensões dos cabos para evitar perdas.

Será igualmente importante haver um cabo de terra, que irá permitir proteger a instalação. A secção deste não deverá ser inferior a 4 mm<sup>2</sup> e é de extrema importância garantir a sua interligação com às terras da instalação geral (normalmente o ponto comum situa-se no Quadro Geral de Baixa Tensão da instalação).

## 6. Quadro de Entrada

Representa o Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) da instalação onde a microgeração será implementada. Neste mesmo quadro serão interligados os cabos de terra no barramento

principal de terras da instalação. As terras deverão ser ligadas todas no mesmo barramento de forma a manter a equipotencialização do conjunto instalação geral mais instalação de microprodução. Os valores correspondentes à resistência de terra deverão cumprir uma tabela de valores presente no Regulamento: Regras Técnicas para Instalações Eléctricas em Baixa Tensão (RTIEBT). O calibre da protecção da caixa de corte AC está directamente ligado ao valor de terras medido no conjunto instalação geral + instalação de microgeração e poderá seguir os valores que constam da tabela seguinte:

**Tabela 2.3 - Valores de Corrente e Resistência de Terra. (Pita, s.d)**

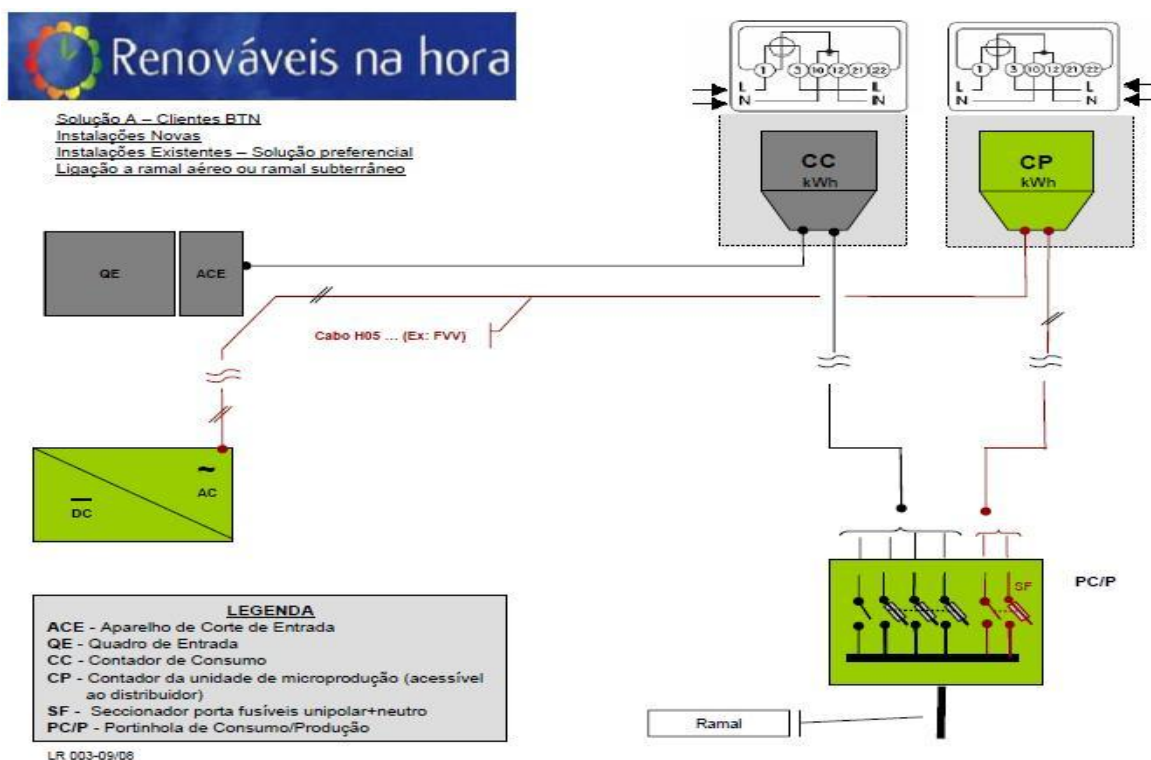
Sensibilidade	Corrente residual diferencial estipulada ( $I_{\Delta n}$ )	Valor máximo de resistência de terra das massas (Ohm) $U_L = 50$ V Corrente alternada	Valor máximo de resistência de terra das massas (Ohm) $U_L = 25$ V Corrente alternada
Baixa sensibilidade	20 A	2,5	1,25
	10 A	5	2,5
	5 A	10	5
	3 A	17	8,3
	1 A	50	25
Média sensibilidade	500 mA	100	50
	300 mA	167	83,3
	100 mA	500	250
Alta sensibilidade	30 mA	1 670	833
	12 mA	4 170	2083
	6 mA	8 330	4167

Em situações em que os valores de terra da instalação geral, através de equipamento próprio, são muitos elevados, torna-se necessário reforçar a terra da instalação. Isto poderá ser feito através da instalação de um novo piquete de terra, tendo este que estar igualmente interligado num ponto com a terra da instalação geral.

## 7. Ligação a RESP

As instalações de microgeração poderão ser instaladas de diferentes maneiras, respeitando as normas impostas no portal Renováveis na Hora. A portinhola de consumo e produção (PC/P) deverá também respeitar critérios explícitos definidos em Renováveis na Hora.

Existem nove soluções diferentes de ligação, sendo a solução A o mais usual, e também a ligação mais adequada e aconselhada pelos fornecedores de energia. Aquela solução pressupõe a instalação de uma PC/P, que idealmente, deverá ser colocada no limite entre a propriedade e a via pública, na baixada do ramal da RESP. A consulta das restantes soluções pode ser feita no acesso *on-line* em Renováveis na Hora.



**Figura 4.6 - Solução A de interligação à RESP.**

## 4.2 Perdas associadas num sistema de Microgeração FV

É importante mencionar as diferentes perdas de energia num sistema de microgeração, com base nos componentes enumerados anteriormente.

Além da grande perda de eficiência aquando da conversão pelo efeito fotovoltaico (com eficiências na ordem dos 15% para células de silício), existem outras perdas que totalizem em média 22%, através de:

- Perdas por efeito de temperatura: Entre 10% a 12%.
- Perdas por efeito de reflectância angular: entre 2,5 e 2,7%
- Outras perdas (cabos, inversor): 9,42% (valor variável)

Serão também consideradas perdas relacionadas com a degradação dos painéis fotovoltaicos que deverão seguir os dados fornecidos pelos fabricantes relativamente as garantias de produção de energia. Regra geral, nos primeiros dez anos de vida é assumida perdas de eficiência na ordem de 1% ao ano, sendo que nos 15 anos subsequentes as perdas serão de 0,8% ao ano.

## Capítulo 5

### 5. Apresentação de Casos Práticos

No presente capítulo serão apresentadas diferentes instalações de microprodução acompanhadas ao longo do estágio na SelfEnergy SA.

Numa fase inicial do capítulo será descrita a metodologia usada numa primeira intervenção, em termos de instalação, denominada por “Visita Técnica”, bem como uma ferramenta de simulação.

Posteriormente, serão apresentadas as instalações no que diz respeito aos dados considerados relevantes para o contexto do trabalho.

Por último será apresentada uma comparação de produção de energia em diferentes locais de Portugal.

#### 5.1 Visita Técnica a Instalação

Para começar a ser projectado, uma microgeração, é fundamental conhecer o local da instalação para que se efectue, posteriormente, uma análise técnica e económica.

Neste sentido, uma visita técnica consiste em reconhecer o edifício em questão e a viabilidade na instalação de um sistema de microgeração. Trata-se de um passo importante para que sejam evitados erros posteriores nas simulações de produção de energia e dos cálculos inerentes aos custos associados à instalação, bem como evitados possíveis constrangimentos relacionados com falta de áreas úteis para a instalação dos ditos sistemas.

A visita deverá ter em conta os vários parâmetros relacionados com equipamentos já citados anteriormente no Capítulo 4. Para tal, durante a visita, será importante identificar um espaço adequado dentro dos limites da propriedade para instalação dos painéis fotovoltaicos, bem como definir uma localização para instalação do inversor. O traçado das cablagens, eventuais trabalhos para alteração do local das caixas de contador e de ramal e trabalhos de construção civil deverão ser ponderados durante a visita. No caso do produtor pretender acesso ao regime tarifário bonificado, será importante definir as condições de instalação para um sistema de

solar térmico (no mínimo 2 m<sup>2</sup> de área de captação solar térmica de acordo com o DL 118-A/2010).

Portanto, o levantamento de dados a ser efectuado numa visita técnica consiste nos seguintes pontos importantes:

- ***Local de fixação da estrutura fotovoltaica***

Consiste em identificar em que zonas serão instalados os painéis fotovoltaicos, seja no telhado, terraço, solo, entre outras possibilidades. É importante também observar qual o tipo de telhado e sua estrutura, bem como o tipo de solo, de forma a ser projectado a estrutura de fixação dos painéis e trabalhos associados. No caso de uma instalação num telhado, é importante mencionar a inclinação do mesmo. Consoante a potência registada no SRM, deverá ter-se em conta a área necessária para a instalação. A orientação geográfica do local escolhido deverá ser definida, com ajuda de uma bússola, indicando sempre o desvio em relação ao azimuth do local de instalação definido. Por fim, é importante ter em atenção aos sombreamentos existentes no local, que poderão prejudicar a eficiência do sistema.

- ***Ramal***

É necessário identificar a chegada do ramal da RESP, realçando se se trata de uma ligação aérea ou subterrânea, bem como o local na propriedade. Em alguns casos, deverá ser ponderado uma alteração de ramal, no caso de ser alterar a localização do contador de consumo. Em situações em que se promove a alteração de ramal deverá ser, na maioria dos casos, instalada uma portinhola de microprodução (PC/P). A alteração de ramal, no caso de ser necessária, é efectuada pelo fornecedor de energia, implicando custos suplementares ao produtor.

- ***Inversor***

O local para instalação do inversor é importante. Por razões de segurança, deverá ser escolhido um espaço resguardado tendo sempre em atenção as distâncias de cabos necessárias para efectuar as diversas ligações com os painéis e o contador de produção. A distância mais importante a ter em conta é entre o inversor e os painéis fotovoltaicos, uma vez que as perdas em corrente contínua (DC) são bastante superiores às perdas em corrente alternada.

- ***Contador de Venda e contador de Produção***

É importante localizar o contador de venda na propriedade e equacionar uma alteração da localização do mesmo para os limites de propriedade (habitualmente o local escolhido para colocação deste é o muro que separa a propriedade da via pública).

Note-se que sendo necessária a instalação de um contador de produção, é também importante identificar um local para os dois contadores, e os trabalhos necessários para instalação dos mesmos, bem como da portinhola, se aplicável. Deverá ser estudada qual a melhor solução a ser aplicada dentro das várias soluções de ligação à RESP presentes no portal Renováveis na Hora.

- ***Caixa de ligação a Terra***

É necessário identificar o local do Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) de forma a verificar as ligações a terra, a conformidade das mesmas e a viabilidade para novas ligações vindo do sistema fotovoltaico.

Em situações em que não existam piquetes de terra ou em que os valores medidos para a resistência de terra não sejam satisfatórios deverá ser efectuado um reforço da mesma através da colocação de mais um piquete de terra, que deverá ser interligado com terras da instalação geral.

- ***Dimensões de cabos***

Por fim, as dimensões de cabos DC, AC e de terra deverão ser aproximadamente estimados. Consoante os locais escolhidos para os painéis, inversor e caixas de contagem, será determinado o comprimento de cabo DC e do cabo AC, para que a secção dos mesmos seja dimensionada de acordo com o que se encontra presente nas Regras Técnicas de Instalações Eléctricas em Baixa Tensão (RTIEBT). O cabo de terra terá uma secção variável mas nunca inferior a 4 mm<sup>2</sup>. Para este deverá ser considerado um comprimento suficiente para garantir interligação de todos os componentes da unidade de microgeração, a equipotencialização de todas as estruturas/elementos metálicos, bem como para efectuar a interligação com a terra da instalação geral.



- ***Solar térmico (se aplicável)***

No caso de ser necessária a instalação de um colector solar (para acesso ao regime bonificado), considera-se o mesmo local de fixação e estrutura definido para o sistema fotovoltaico, caso a área disponível seja suficiente. Caso contrário, deverá ser efectuada a identificação de um local mais apropriado para colocação dos 2 m<sup>2</sup> de colectores térmicos. Adicionalmente, será necessário identificar se existe algum equipamento de apoio à produção de águas quentes sanitárias, tais como caldeiras e esquentadores, de forma a promover a interligação entre sistemas.

- ***Recolha Fotográfica e Esboço***

Finalmente, é importante no decorrer de uma visita efectuar fotografias de forma a termos, posteriormente, uma base visual do local visitado, que poderá ser de extrema utilidade em caso de dúvidas relacionadas com pormenores técnicos da instalação.

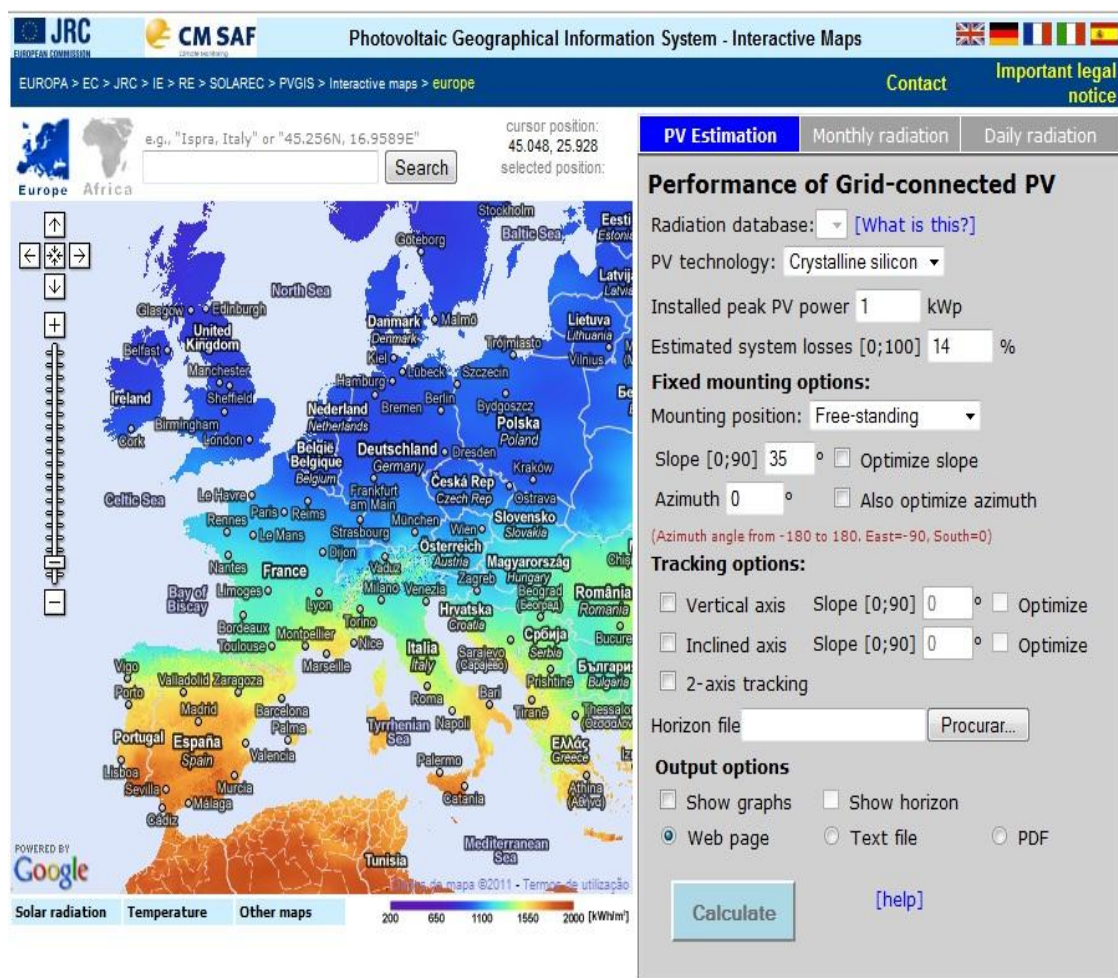
Um esboço do local visitado é importante numa perspectiva de interiorização pessoal do local, bem como na ajuda na percepção de terceiros na compreensão do sistema a instalar. Pretende-se que este esboço funcione como um esquema de princípio básico da unidade de microprodução.

## **5.2 Simulação de produção de Energia**

Para efectuar simulações de produção de energia eléctrica para sistemas fotovoltaicos, podem ser utilizados diversos softwares, tais como *PVGIS* e *PVSYST*, entre outros.

No âmbito da presente dissertação, as simulações foram efectuadas com o *PVGIS* (*Photovoltaic Geographical Information System*). Este serviço de informação, fornecido *on-line* e de forma gratuita pelo Instituto para o Ambiente e Sustentabilidade da União Europeia, pretende disponibilizar uma base de dados sobre os recursos de energia solar e a avaliação da produção de electricidade com sistemas fotovoltaicos. Ressalva-se que o programa restringe-se aos mapas da Europa, África e Sudoeste da Ásia.

Apesar de se tratar de um programa de utilização bastante simples e com uma precisão técnica algo insuficiente, ele apresenta estimativas de produção com uma margem de erro de 5% em relação a realidade (Kenny, 2006).



**Figura 5.1 - Identificação do Programa de cálculo utilizado para efectuar simulações de FV.**

A simulação consiste em identificar o local onde será instalado o sistema fotovoltaico através das coordenadas GPS, e efectuar a simulação com introdução dos dados necessários. Deverá ser escolhido o tipo de tecnologia a utilizar, a potência instalada, as perdas associadas ao sistema, o azimuth e a escolha do tipo de estrutura (fixa ou seguidor solar - *tracker*).

### 5.3 Apresentação de uma microgeração fotovoltaica em Murça

Antes de mais, é preciso mencionar que o cliente efectuou o registo no SRM, para o regime bonificado. A análise efectuada será então com o pressuposto de uma instalação de microgeração com a potência máxima permitida para acesso ao regime bonificado, de 3,68 kW, bem como a instalação de 2 m<sup>2</sup> de solar térmico. Salienta-se que o cliente possui uma potência contratada de 10,35 kW com o fornecedor de energia eléctrica, tendo portanto pelo menos o dobro da potência de ligação da microprodução, estando assim ao abrigo da

legislação. Note-se que em alguns casos, o aumento da potência contratada na EDP poderá ser efectuada, no intuito de poder ter acesso ao regime bonificado. Por exemplo, e a título indicativo, um cliente com uma potência contratada menor ou igual a 6,9 kVA não poderá ter acesso a potência máxima permitida de microprodução (3,68kW), por não possuir pelo menos 50% da potência de ligação para microprodução. Será portanto necessária uma alteração de potência para o escalão superior, de 10,35 kVA para se ter acesso a potência de 3,68kW.

O local da instalação situa-se em Murça, no Distrito de Vila Real, numa propriedade privada, constituído por uma quinta com uma actividade agrícola. Trata-se de um cliente empresarial da SelfEnergy SA.



**Figura 5.2 - Localização da instalação de microgeração e solar térmico em Murça.**

- ***Microgeração FV***

Pela visita técnica efectuada ao local, e tendo em conta os constrangimentos do cliente e as suas preferências para o local da instalação, foi sugerido um espaço dentro da propriedade sem qualquer tipo de utilidade. O local é um bocado de terreno em terra, plano, perfeitamente orientado a sul e com área suficiente para a instalação fotovoltaica pretendida (cerca de 40 m<sup>2</sup>). Dadas as condições óptimas, o local foi escolhido para instalação da microgeração.

Os trabalhos de construção civil efectuados foram a construção de maciços como suporte para a estrutura dos painéis, a construção de um murete para colocação do inversor junto ao campo



fotovoltaico e o cravamento das caixas para instalação dos contadores CC e CP bem como da PC/P, neste caso, consituído assim uma solução A explícita no portal Renováveis na Hora.

No âmbito de uma instalação da microgeração, a potência dos painéis é importante de forma a ser calculado o número de painéis necessário para satisfazer a potência a ser injectada na rede. Salienta-se, portanto, que os painéis utilizados pela Selfenergy SA são de silício policristalino e têm uma potência de 230 Wp cada.

Neste caso, para satisfazer uma potência de injeção na RESP de 3,68 kW, são instalados 18 painéis fotovoltaicos, que irão representar uma potência instalada de 4,14 kW. É importante referir que a potência instalada é sempre maior por motivos de compensação das perdas globais do sistema, bem como numa resguarda perante as produções de energia expectáveis no local. A orientação dos painéis está com azimute de 0° e com inclinação otimizada de 35°.

Em seguida apresenta-se a instalação de microgeração executada.



**Figura 5.3 - Instalação de uma microgeração FV em Murça.**

Por se tratar de um local um pouco isolado sem passagem por parte de pessoas ao longo do dia, não foi necessário vedar a instalação.

O inversor ficou instalado junto aos painéis, reduzindo-se assim o comprimento do cabo DC e minimizando-se as perdas. Lembra-se que a potência de saída do inversor é de 3,68 kW e está homologado pela Renováveis na Hora. A potência nominal AC do inversor é de 3680 W e a potência máxima DC de 4040 W. Note-se que se trata de um inversor especialmente

concebido para Portugal. Em termos técnicos, foram ligadas duas *strings* em paralelo ao inversor, contendo cada *string* nove painéis fotovoltaicos, com o intuito de obedecer aos limites máximos de voltagem a entrada do inversor. O corte DC está incorporado no inversor, enquanto o corte AC foi instalado junto ao mesmo.



**Figura 5.4 - Inversor e caixas de cortes AC e DC.**

A solução equacionada de interligação à RESP é a solução A. Para tal, foram instalados os contadores de produção e de consumo, bem como a portinhola PC/P, no limite da propriedade com a via pública.



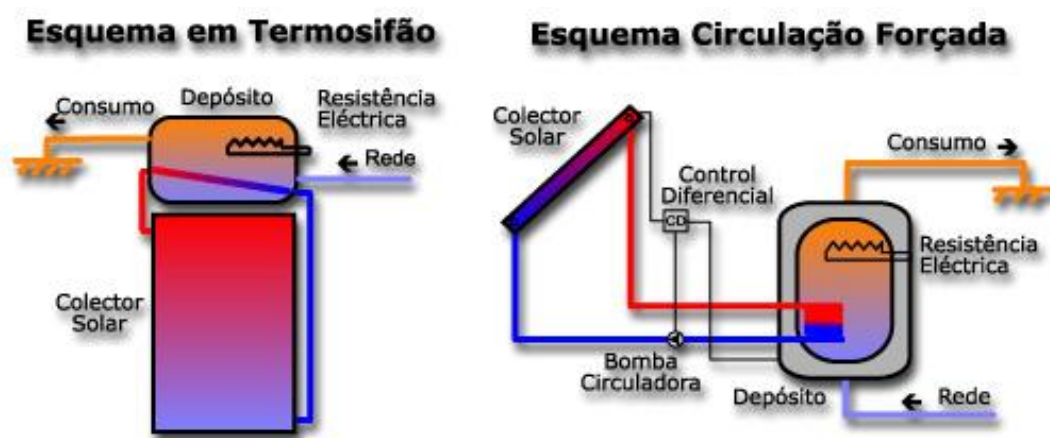
**Figura 5.5 - Contador de produção, contador de consumo e portinhola PC/P.**



- **Solar térmico**

Relativamente à instalação do solar térmico, foi tido em conta que existe no local uma central térmica de duas caldeiras a gás propano, tendo o sistema sido instalado próximo da central, de forma a serem minimizadas as perdas entre os painéis e o acumulador que ficou situado junto as caldeiras. Salienta-se que se trata de um sistema de circulação forçada, com as caldeiras como sistema de apoio.

Em seguida apresenta-se o sistema de funcionamento de um solar térmico com circulação forçada e com termosifão, que são os mais usuais.



**Figura 5.6 - Diferentes sistemas de solar térmico. (Painel Solar Térmico, s.d)**

A instalação é constituída por dois colectores térmicos e de um acumulador com uma capacidade de 200 litros. Estão orientados a Sul e uma inclinação de 40°.



**Figura 5.7 - Colectores solares.**

A figura seguinte mostra o depósito e a central térmica. Note-se que as águas quentes produzidas pelo solar térmico são exclusivamente para águas quentes sanitárias.



**Figura 5.8 - Acumulador do solar térmico e central térmica.**

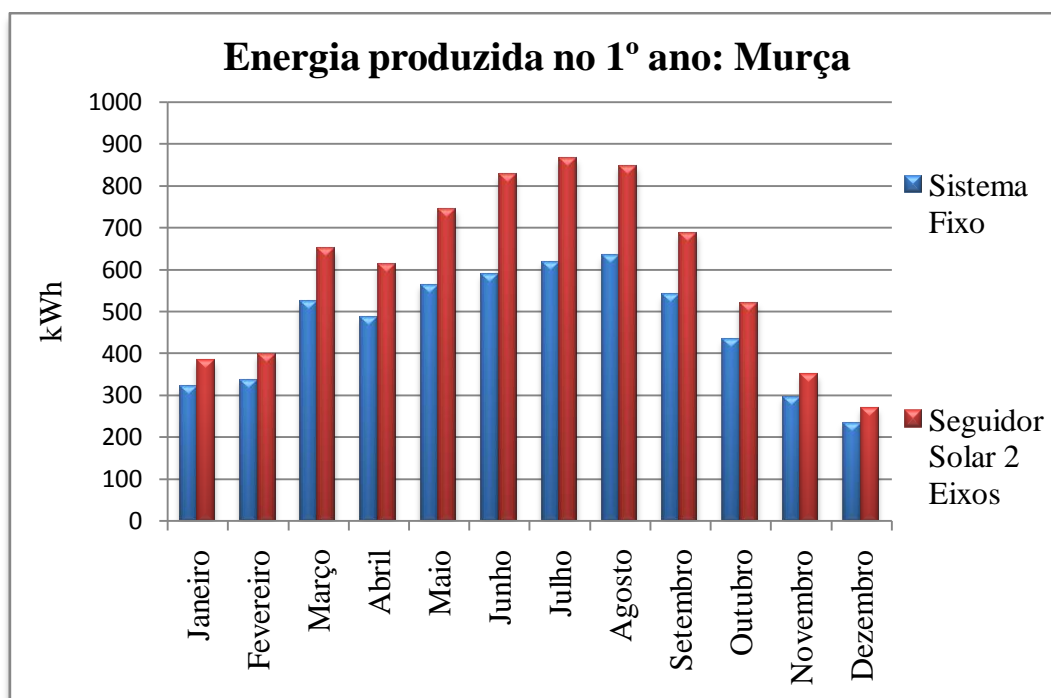
### **5.3.1 Simulação *PVGIS* em Murça**

Tendo em conta as condições da instalação, apresenta-se em seguida a respectiva simulação efectuada no programa *PVGIS*, com o cálculo posterior das respectivas estimativas de produção de energia e receitas esperadas num horizonte de 15 e de 20 anos.

Portanto, para a simulação *PVGIS*, teve-se em consideração os seguintes pontos:

- Perdas (cabos, inversor): 11 %
- Potência instalada: 4,14 kWp (18 painéis de silício policristalino de 230 Wp cada)
- Ângulo inclinação de 35° e azimute de 0° (para o sistema fixo)
- Localização: Murça

Na figura 5.9, são apresentados os valores obtidos através da simulação *PVGIS* durante o primeiro ano. Efectuou-se, para efeitos de comparação, uma simulação para um sistema fixo (sistema efectivamente instalado) e um seguidor solar. Note-se que a produção de energia de um seguidor solar de dois eixos neste local é cerca de 28% superior ao sistema fixo. Em termos quantitativos, o sistema fixo irá produzir 5575 kWh e o seguidor solar produziria 7159 kWh, no primeiro ano.



**Figura 5.9 – Evolução da energia produzida em kWh, ao longo do primeiro ano.**

Procedeu-se ao cálculo da produção de energia num horizonte de 20 anos. Para tal, foram consideradas perdas associadas ao rendimento dos painéis, tendo em conta a potência de saída garantida pelo fabricante, com uma potência de saída nos primeiros 10 anos de vida de 90% e de 80% nos restantes.

Apresentam-se os valores intermédios passado 15 anos, correspondendo a duração do regime bonificado, que terá especial relevância no Capítulo 6 da seguinte dissertação. O horizonte de 20 anos foi escolhido por ser o tempo de vida aceite e confirmado no mercado, apesar de os painéis terem garantia de 25 anos.

**Tabela 3.1 - Dados obtidos através da simulação PVGIS em Murça.**

<i>Murça</i>	<i>Sistema Fixo</i>		<i>Seguidor Solar 2-eixos</i>	
	<i>15 anos</i>	<i>20 anos</i>	<i>15 anos</i>	<i>20 anos</i>
<i>Energia Produzida (kWh)</i>	78167	102048	100376	131042
<i>Receita Prevista (€)</i>	24088	26715	30932	34305
<i>Emissões CO<sub>2</sub> evitadas (ton)</i>	27	35	34	45
<i>Tep Evitados</i>	7	9	9	11



As receitas previstas foram calculadas com base na simulação *PVGIS* e a tarifa bonificada actualmente em vigor, de 0,38 €/kWh durante os oito primeiros anos e de 0,22 €/kWh nos sete anos seguintes. Para a análise num horizonte de 20 anos, nos últimos cinco anos, a passagem para o regime geral implica que o valor de venda a RESP é de 0,11 €/kWh (igual ao valor médio actual de compra). Neste sentido, é importante referir que não foi considerada inflação do custo da energia eléctrica, por motivos de continuidade do trabalho que será desenvolvido no Capítulo 6.

Para efeitos de conversão para toneladas de CO<sub>2</sub> e toneladas de petróleo equivalente, foram utilizados valores de conversão da DGEG.

Não será demais relembrar que os valores de produção de energia apresentados pelo *PVGIS* são uma estimativa com base em índices meteorológicos, não podendo de todo dar garantias das produções apresentadas.

As simulações completas podem ser visualizadas em anexo.

#### **5.4 Instalação de um seguidor solar na região de Lisboa.**

Em seguida, pretende-se ilustrar a instalação de um seguidor solar de um só eixo. Trata-se de um seguidor solar instalado na região de Lisboa, com a particularidade de ter uma potência instalada de 5,52 kWp, por usufruir do regime bonificado especial de microgeração para Instituições Particulares de Solidariedade Social (IPSS). No entanto, no âmbito da presente dissertação, não será efectuada a respectiva análise económica do regime especial para IPSS, pelo que esta discussão tem como intuito mostrar a parte técnica da instalação de um seguidor solar.

Apresenta-se a montagem da estrutura do seguidor solar. Consiste numa estrutura metálica assente num maciço em betão armado.



**Figura 5.10 - Instalação da estrutura do seguidor solar.**

Em seguida apresenta-se a instalação concluída, constituída por 24 painéis de 230 Wp (representativo da potência instalada de 5,52 kWp). O inversor encontra-se no pilar principal da estrutura e está dimensionado para injeção na RESP com uma potência de 5 kW (potência necessária para acesso ao regime IPSS). Salienta-se que um seguidor solar deverá usufruir de uma boa estrutura, capaz de resistir a ventos fortes. De forma a monitorizar as condições climatéricas no local, existe uma pequena estação meteorológica anexa a instalação, e directamente interligada com o software do *tracker*.



**Figura 5.11 - Seguidor solar na região de Lisboa.**

Em seguida apresenta-se o inversor da instalação, com potência de saída de 5 kW.



**Figura 5.12 - Inversor da instalação do seguidor solar.**

Sendo um seguidor solar uma instalação completamente automatizada, é necessário efectuar uma calibração e programação do sistema, onde, nomeadamente, será necessário ver a orientação exacta do seguidor solar numa dada posição, como ilustrado na figura 5.13, para ser depois inserida no *software* da instalação.



**Figura 5.13 - Calibração do seguidor solar.**

A calibração e afinação do motor responsável pela orientação do seguidor solar é também efectuada.





**Figura 5.14 - Calibração do motor do seguidor solar.**

Todo o trabalho de arranque da instalação é efectuado por técnicos acreditados, por se tratar de um trabalho meticoloso e de extrema importância para uma posterior fiabilidade do sistema.

Por fim, salienta-se que se trata de uma interligação a rede com a solução A. Os contadores e portinhola PC/P encontram-se no limite de propriedade com a via pública.

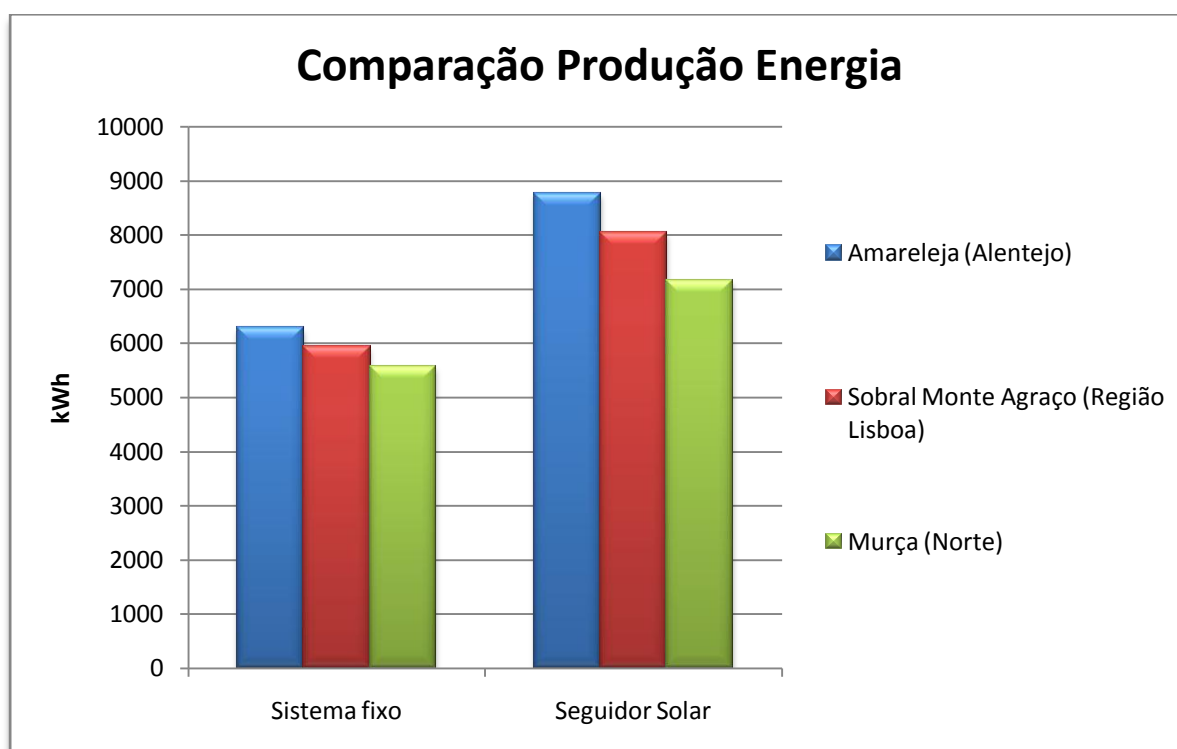
É importante referir que a necessidade de construção de maciços em betão armado para instalação de um *tracker* irá se traduzir num aumento dos custos associados ao sistema. O facto também de ser um sistema com necessidade de automatização (*software*, motor), implica custos de instalação e funcionamento mais elevados comparativamente a um sistema fixo.

## **5.5 Simulações PVGIS em Portugal: Comparação da produção de energia**

Para efeitos de comparação entre diferentes zonas do país dos níveis de produtividade dos sistemas de microgeração, foram efectuadas simulações no *PVGIS*, para locais distintos. Para tal, foram escolhidos os dois casos práticos apresentados, em Murça e na Região de Lisboa (Sobral de Monte Agraço), bem como um outro local, Amareleja, no concelho de Beja. Note-se que neste concelho está instalado uma das maiores centrais fotovoltaica do Mundo.

As simulações foram efectuadas de acordo com os critérios estabelecidos no ponto 5.3.1 do presente Capítulo, referente a simulação efectuada em Murça. Logo, as simulações foram efectuadas para uma instalação com potência instalada de 4,14 kWp.

Apresentam-se na figura 5.15 as produções de energia nos três locais, no primeiro ano. Destaca-se que, quanto mais para sul do país, maior será a diferença de produção entre um sistema fixo e um *tracker*. Note-se que existe uma diferença de 28%, 35% e 40%, respectivamente para sistemas fixos e *tracker* em Murça, Sobral de Monte Agraço e Amareleja.



**Figura 5.15 - Comparação da produtividade de energia em diferentes locais de Portugal.**

De facto, é possível notar uma grande disparidade nos valores calculados entre sistemas de microgeração fotovoltaicas no Norte, Região de Lisboa e Sul do país. Estas diferenças irão ter consequências notáveis em termos económicos, que poderão ser verificadas no Capítulo 6.

Com base na simulação para Murça, apresentam-se os diferentes valores obtidos para Sobral de Monte Agraço e Amareleja. Os dados completos das simulações podem ser visualizados em anexo. Lembra-se que as simulações têm como base a tarifa bonificada em vigor.

**Tabela 5.2 - Dados obtidos através da simulação PVGIS em Sobral de Monte Agraço.**

<i>Sobral de Monte Agraço</i>	<i>Sistema Fixo</i>		<i>Seguidor Solar 2-eixos</i>	
	<i>15 anos</i>	<i>20 anos</i>	<i>15 anos</i>	<i>20 anos</i>
<i>Energia Produzida (kWh)</i>	83312	108765	112770	147223
<i>Receita Prevista (€)</i>	25674	28473	34751	38541
<i>Emissões CO<sub>2</sub> evitadas (ton)</i>	29	37	39	50
<i>Tep Evitados</i>	7	9	10	13

**Tabela 5.3 - Dados obtidos através da simulação PVGIS em Amareleja.**

<i>Amareleja</i>	<i>Sistema Fixo</i>		<i>Seguidor Solar 2-eixos</i>	
	<i>15 anos</i>	<i>20 anos</i>	<i>15 anos</i>	<i>20 anos</i>
<i>Energia Produzida (kWh)</i>	87981	114861	122949	160512
<i>Receita Prevista (€)</i>	27112	30069	37888	42020
<i>Emissões CO<sub>2</sub> evitadas (ton)</i>	30	39	42	55
<i>Tep Evitados</i>	8	10	11	14

É de facto notória a diferença de produção de energia entre Norte e Sul do país. Com base nos dados obtidos, uma instalação com as mesmas características de instalação a Norte e Sul do país poderá ter diferenças de 13% e 22%, respectivamente, para sistema fixo e para seguidor solar.

## Capítulo 6

### 6. Análise Económica de uma microgeração FV

A presente análise consiste no estudo da viabilidade económica das instalações de microgeração fotovoltaica apresentadas no Capítulo anterior, todos com base no regime bonificado em vigor.

Salienta-se que esta análise económica refere-se somente à instalação fotovoltaica. O custo do solar térmico não será incluído, por se tratar de um sistema completamente independente do sistema FV, funcionando de forma autónoma. Em alguns casos, os clientes já possuem solares térmicos instalados, pelo que, para acesso ao regime bonificado, não necessitam investir noutra sistema semelhante.

Por outro lado, tratando-se de um investimento algo elevado, é frequente recorrer a um financiamento externo. Neste âmbito, as entidades bancárias dispõem de diversas modalidades de financiamento para energias renováveis. Existem também outras formas de financiamento, com recurso a Empresas de Serviços de Energia (ESCO), mas não serão efectuadas tais simulações na presente dissertação. Porém, trata-se de uma solução viável tanto para a ESCO como para o cliente, havendo benefícios para ambas as partes.

Por motivos de confidencialidade, foram estimados valores médios do custo de cada instalação, tendo sido utilizados valores de acordo com a realidade do mercado actual. Pelos motivos técnicos respectivos de cada instalação (fixo e *tracker*), é importante referir que uma microgeração FV com seguidor solar é mais dispendiosa, quer em termos de instalação, como de posterior manutenção do sistema.

Por fim, é importante referir que não foram consideradas taxas de inflação em todas as análises efectuadas.

## 6.1 Análise da Viabilidade Económica ao Caso Prático de Murça

Salienta-se que, apesar de o cliente ter decidido instalar um sistema de microgeração fixo, foi efectuado a análise económica para a instalação de um seguidor solar de dois eixos, com o intuito de se poder comparar as duas instalações. Relembra-se que se trata de uma microgeração com acesso ao regime bonificado, com uma potência de ligação à RESP de 3,68 kW.

De forma a apresentar uma simulação com recurso a financiamento por parte de uma entidade bancária, considerou-se um valor de entrada de 10% do investimento inicial, com pagamento em prestações durante 10 anos. Note-se que nos primeiros 8 anos, a prestação mensal é diferente dos últimos 2 anos. Desta forma, é possível acompanhar a evolução da tarifa bonificada no mesmo período de tempo. Estes pressupostos têm em consideração o que é usual actualmente, em investimentos com recurso a uma entidade bancária. Para tal, ressalva-se que se procedeu a uma análise em paralelo, com valores de uma simulação efectuada para uma microgeração fotovoltaica em Março de 2011, com investimentos muito próximos. As taxas de juros utilizadas são: TAN de 4,621% e TAEG de 6,029%.

Portanto, as diferentes variáveis a ter em conta na análise económica efectuada são:

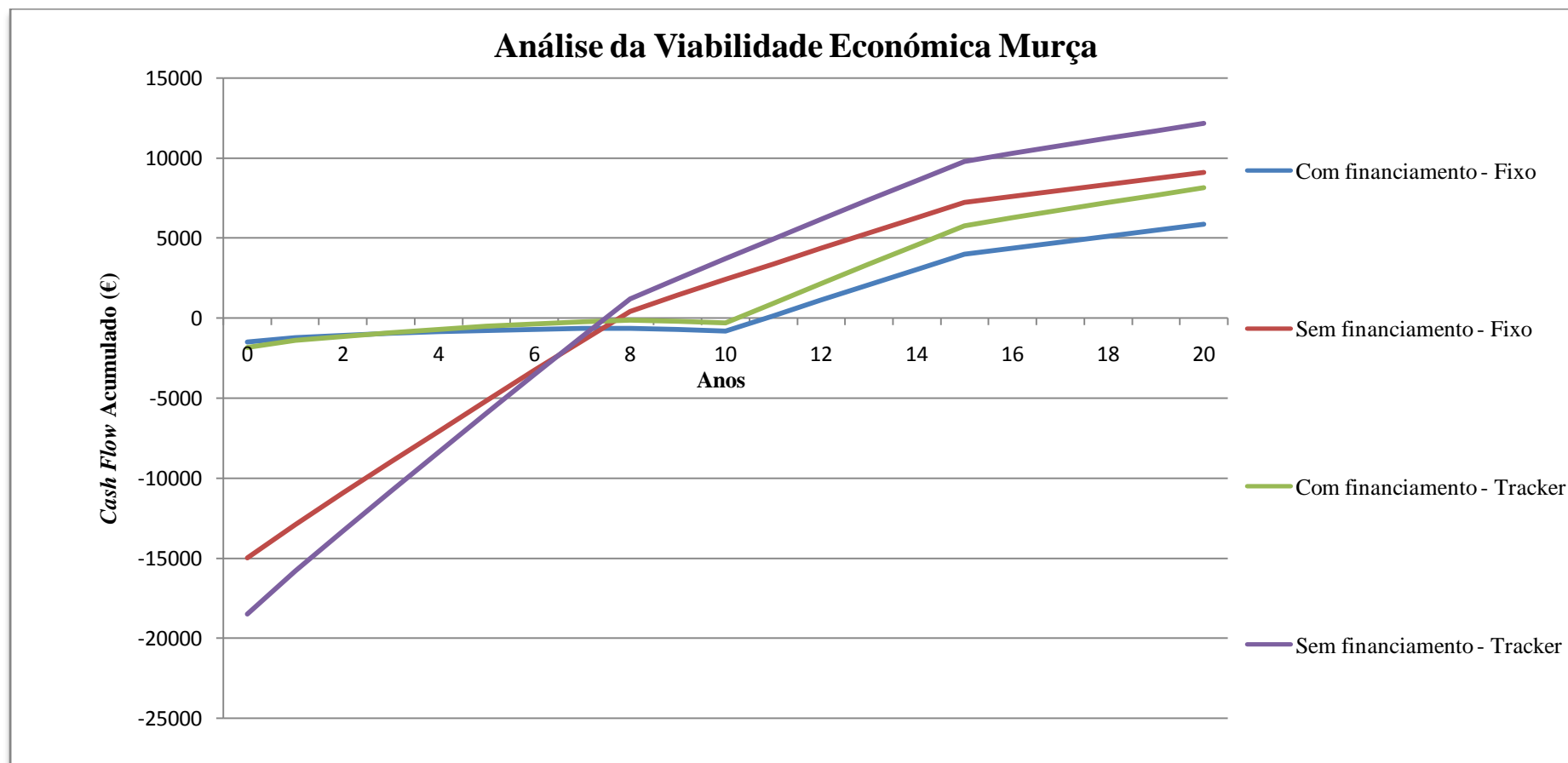
- As receitas do sistema fotovoltaico calculadas a partir da simulação de produção de energia no PVGIS (ver Capítulo 5);
- As despesas, que serão representadas pelo investimento inicial, prestação a entidade bancária (se aplicável), aos custos de manutenção e ao seguro da instalação.

É importante referir que os custos de manutenção e de seguro são os utilizados correntemente no mercado. Note-se que o primeiro ano fica isento do custo de manutenção. Não foi considerado inflação nos custos mencionados, mantendo-se constante ao longo tempo.

Salienta-se que todos os custos incluem a taxa de IVA em vigor, de 13%.

Com base nos critérios mencionados, segue-se a análise da viabilidade económica efectuada a microgeração instalada com um sistema fixo e com um *tracker*. Os custos associados e *paybacks* a instalação são expostos na tabela 6.1.





**Figura 6.1 - Viabilidade económica de uma microgeração FV em Murça.**

**Tabela 6.1 – Custos associados e tempo de retorno para a instalação da microgeração FV em Murça.**

<i>Murça</i>	<i>Sistema fixo</i>		<i>Seguidor Solar 2 Eixos</i>	
	<i>Com financiamento</i>	<i>Sem financiamento</i>	<i>Com financiamento</i>	<i>Sem financiamento</i>
<i>Custo Instalação (€)</i>	15000	15000	18500	18500
<i>Periodo Prestação (anos)</i>	10	-	18500	-
<i>Entrada (10%) (€)</i>	1500	-	1850	-
<i>Prestação Mensal 8 primeiros anos (€)</i>	151,74	-	187,14	-
<i>Prestação Mensal 2 últimos anos (€)</i>	91,05	-	112,30	-
<i>Manutenção 15 primeiros anos (€)</i>	100	100	150	150
<i>Manutenção 5 últimos anos (€)</i>	150	150	200	200
<i>Seguro Anual (15 anos) (€)</i>	30	30	30	30
<i>Tempo de retorno (anos)</i>	10,90	7,80	10,30	7,50

Note-se que o custo da instalação não inclui a taxa de registo no SRM, de 500€. Relembra-se também que rendimentos inferiores a 5000€ resultante da actividade de microprodução ficam excluídos da tributação em IRS, o que em Portugal, para efeitos de microgeração de 3,68 kW será aplicado em todos os casos.

Como era expectável, a instalação de uma microgeração FV sem recurso a financiamento é a opção mais viável. Por outro lado, no caso de se recorrer a uma entidade bancária, note-se que as receitas previstas do sistema de microgeração conseguem “pagar” de certa forma a prestação ao banco, não inflacionando assim a dívida.

A instalação de um seguidor solar seria no entanto uma opção mais atractiva, principalmente devido ao *cash flow* acumulado superior ao de um sistema fixo. No caso de Murça, e devido a diferença mínima em termos de vantagens económicas e o receio em termos de avarias técnicas dos *tracker*, o sistema fixo foi escolhido.

É importante mencionar o *cash flow* acumulado ao fim de 20 anos, com valores bastante apreciáveis e motivadores para quem quer investir. Neste sentido, a instalação de microgeração passa a ser uma fonte de rendimentos durante cerca de 12 anos, no melhor dos casos. A fiabilidade de um sistema de microgeração torna-se então uma grande vantagem, onde se consegue rentabilizar o investimento bastante rapidamente graças ao regime bonificado e torna-lo lucrativo em seguida, com possibilidade de rentabilidade até aos 25 anos de funcionamento, representativo do tempo de vida dos painéis.

Neste âmbito, é preciso realçar que a instalação de microgeração fotovoltaica só é rentável com acesso ao regime bonificado. Através do regime geral, o tempo de retorno do investimento seria acima de 30 anos (sem financiamento), ultrapassando assim o próprio tempo de vida dos painéis fotovoltaicos.

## 6.2 Análise da Viabilidade Económica da microgeração em Portugal

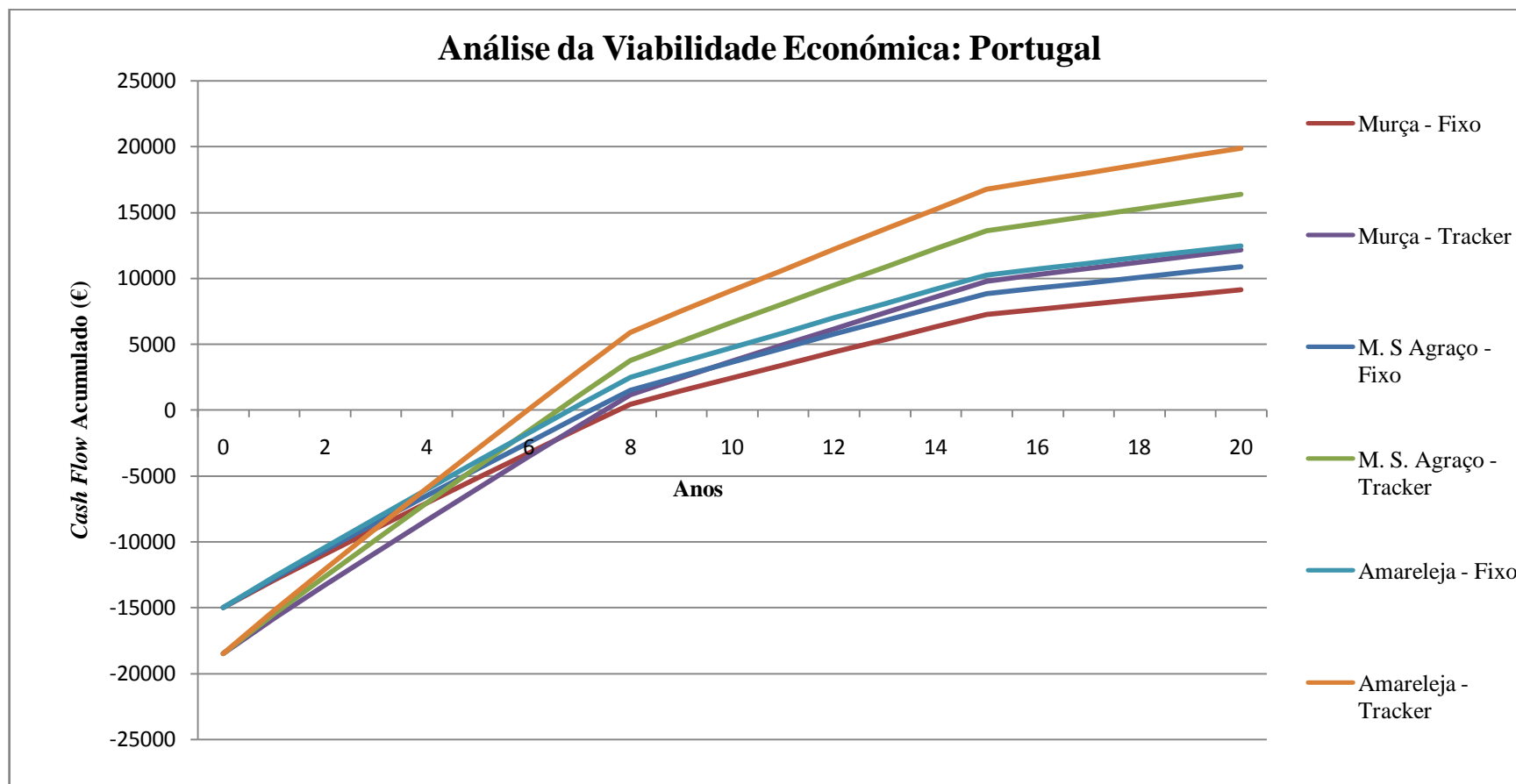
Com base nos dados obtidos no Capítulo 5 (ponto 5.5), foi efectuada uma análise económica comparativa para os três locais apresentados. Apresentam-se apenas os dados obtidos sem financiamento externo.

Note-se, por exemplo, que um sistema fixo instalado em Amareleja é mais rentável do que um *tracker* em Murça. De facto, as diferenças de produtividade entre Norte e Sul tornam as instalações fotovoltaicas mais rentáveis no Sul. É interessante notar que na região de Lisboa e Alentejo, os *tracker* representam um investimento com mais benefícios que os sistemas fixos, permitindo um retorno melhor do investimento inicial. Tornam-se assim, uma opção mais viável do que os sistemas fixos.

Os tempos de retorno das diferentes instalações são apresentados na tabela 6.2.

**Tabela 6.2- Tempos de retorno das instalações para investimentos sem financiamento.**

	<i>Tempo de retorno (Anos)</i>		
	<i>Murça</i>	<i>Sobral de Monte Agraço</i>	<i>Amareleja</i>
<i>Sistema fixo</i>	7,80	7,20	6,80
<i>Seguidor Solar</i>	7,50	6,60	6,00



**Figura 6.2 - Comparação da viabilidade económica de uma microgeração FV em Portugal.**

# Capítulo 7

## 7. Conclusões

Num panorama energético mundial inquietante, torna-se imperativo agir rapidamente de forma a inverter a tendência do uso irracional das energias fósseis. Neste desafio, as energias renováveis aparecem como uma alternativa à produção energética mundial. Neste âmbito, a energia solar é uma das grandes apostas no futuro, com o intuito de promover o desenvolvimento sustentável e o combate as alterações climáticas.

Nesta dissertação, o principal objectivo foi a promoção de uma solução eficiente para a produção de energia eléctrica a partir de painéis fotovoltaicos, através da instalação de centrais de microgeração. Assim, é possível diminuir a produção de energia eléctrica com recurso a energias fósseis, e obter uma central capaz de produzir electricidade no próprio local de consumo, tornando, de alguma forma, o produtor/consumidor auto-sustentável.

Não sendo a tecnologia fotovoltaica uma tecnologia recente, a sua expansão muito tardia como FER é algo questionável. De facto, há muitos anos que o fotovoltaico é utilizado por exemplo, na alimentação de energia em satélites no espaço, enquanto na Terra praticamente não existiam painéis fotovoltaicos. Logo, foi necessário haver uma grande vontade política, de forma a mudar de rumo e ver o fotovoltaico aparecer e crescer exponencialmente nos últimos anos. Convém também mencionar que a tecnologia fotovoltaica não sofreu grandes inovações tecnológicas nos últimos anos, e só começou a expandir-se graças ao esforço político (promovido por alguns países como a Alemanha) para o desenvolvimento da área.

Um país como Portugal, por possuir um dos maiores índices de radiação solar na Europa, tem oportunidade em se tornar um dos maiores produtores de electricidade com recurso a energia solar. A expansão da área da energia fotovoltaica veio criar um mercado forte em Portugal, com tendência a crescer nos próximos anos, criando oportunidades de emprego e investimentos em larga escala.

Neste âmbito, pelo impulso dado pela legislação do DL 363/2007, e as suas posteriores alterações no DL 118-A/2010, a microgeração veio, nos últimos anos, a expandir-se de uma forma notável. Na presente dissertação foi possível, através das análises económicas

efectuadas a sistemas de microgeração em Portugal, constatar que se trata de um investimento rentável, com os projectos rentabilizados a curto prazo e lucrativos a médio/longo prazo. No entanto, uma instalação de microgeração somente se torna economicamente interessante pelo acesso ao regime bonificado, sem o qual torna-se um investimento impossível de ser rentabilizado em prazos razoáveis. Logo, a microgeração fotovoltaica está completamente dependente da legislação em vigor, e que o custo da tecnologia fotovoltaica está intimamente ligada a mesma legislação. Pois, foi possível constatar uma queda de cerca de 40% no custo de uma instalação fotovoltaica ao longo dos últimos três anos. A explicação para tal facto está na legislação, pois anteriormente o regime bonificado tinha tarifas muito mais atraentes do que as tarifas actuais. A queda das tarifas do regime bonificado entre o decreto DL 363/3007 e o DL 110-A/2010 traduziu-se recentemente, numa importante queda dos custos de instalações fotovoltaicas. Neste âmbito, para que o fotovoltaico seja uma energia viável, é fulcral haver vontade política. Essa vontade política poderá ser alargada a outros tipos de energias renováveis, como a eólica.

Os casos práticos estudados mostraram que o período de retorno para um sistema de microgeração fixo é em média de 7,30 anos (6,7 anos em média para seguidores solares) no caso de não se recorrer a uma entidade bancária, e de 10 a 11 anos no caso de se recorrer a fundos externos. No entanto, existe uma diferença significativa de produção de energia entre Norte e Sul de Portugal, pelo que os investimentos a Sul tornam-se muito mais rentáveis e mais seguros.

Os seguidores solares produzem mais energia eléctrica do que os sistemas fixos. No entanto, em termos económicos, e comparativamente com os sistemas fixos, estes apresentam pequenas vantagens em termos de rentabilidade do investimento, principalmente a norte do país. De facto, foi possível concluir que os seguidores solares no Sul de Portugal têm grandes diferenças de produção de energia comparativamente com os sistemas fixos, o que poderá incentivar o seu investimento. Em Amareleja foi possível constatar que o período de retorno de um seguidor solar é de 6 anos, o que é muito atractivo. Por outro lado, de par com as características de automatização do sistema, estes carecem de problemas técnicos com mais frequência, o que leva a uma menor procura do que os sistemas fixos. No momento da escolha entre os dois sistemas, prevalece a fiabilidade, que tende a ser favorável aos sistemas fixos, apesar de os seguidores solares oferecerem actualmente bons desempenhos mecânicos.

Porém, em qualquer situação, é possível concluir que o investimento numa microgeração fotovoltaica não carece de um risco grande em termos económicos. O investimento inicial, graças à tarifa bonificada e às condições climatéricas favoráveis será sempre rentabilizado, reforçando assim a procura na microgeração fotovoltaica. No entanto, ressalvam-se que as restrições para o acesso ao regime bonificado são algo controversas, devido nomeadamente ao limite de potência máxima de ligação permitido de 3,68 kW, bem como a instalação de um solar térmico não ser economicamente atractivo e viável, apesar de ser ambientalmente vantajoso.

Em termos técnicos, a durabilidade do sistema fotovoltaico, com tempos de vida dos painéis entre os 20 e 25 anos, é uma forte vantagem no investimento numa tecnologia fiável. No entanto, de um ponto de vista crítico, uma instalação de microgeração tem custos a serem considerados ao longo do seu tempo de vida. Os inversores por exemplo, carecem de uma garantia reduzida, de cerca de 10 anos, levando a questionar se esses equipamentos poderão ser considerados fiáveis durante 20 anos.

Além das vantagens técnicas e económicas descritas, os atributos ambientais são de relevo, e deveriam ser uma motivação suplementar na instalação de sistemas de microgeração. Os impactes ambientais praticamente nulos no seu tempo de vida são de extrema relevância. É também possível o reaproveitamento das matérias dos painéis no seu fim de vida, consolidando o potencial da tecnologia.

O fotovoltaico carece ainda de problemas de viabilidade relativamente ao seu elevado custo. Daí as políticas governamentais terem um papel fulcral no desenvolvimento da área, onde, futuramente, será necessário existir incentivos governamentais mais ambiciosos, de forma a tender para um abaixamento do custo do fotovoltaico. Por fim, lembrar-se que as políticas deverão estar sempre orientadas numa perspectiva de desenvolvimento sustentável, na qual a tecnologia fotovoltaica se enquadra na perfeição e se torna uma promissora alternativa às energias fósseis poluidoras e com efeitos nefastos para o Planeta.

## Referências

Agência Internacional de Energia (AIE). Disponível: <http://www.iea.org/> [data de consulta: 17/02/2011]

Agostinho, A. et al. s.d. Microprodução com Sistemas Fotovoltaicos e Eólicos, Análise da Rentabilidade Económica e de Impactos no Sistema Eléctrico. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra.

*Anexo Resolução do Conselho Ministros nº 80/2008 de 20 de Maio de 2008.* Diário da República, 1ª série Nº 97. Presidência do Conselho de Ministros.

Anónimo (2009) *Descrição e Informações para a Montagem dos Sistemas Energia Solar Fotovoltaica.* Portal Energia (<http://www.portal-energia.com/descricao-e-informacoes-para-a-montagem-dos-sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica/>) [data de consulta: 10/03/2011]

Anónimo (2009) *L'impact Environnemental.* Photovoltaïque (<http://www.photovoltaique.info/-L-impact-environnemental-.html>) [data de consulta: 01/03/2011]

Anónimo (2009) *Teoria de Funcionamento Energia Solar Fotovoltaica.* Portal Energia (<http://www.portal-energia.com/teoria-funcionamento-energia-solar-fotovoltaic/>) [data de consulta: 01/03/2011]

Anónimo (s.d) *Energia Solar Fotovoltaica, Guia Prático.* Solarterra (<http://permacoletivo.files.wordpress.com/2008/05/curso-energia-solar-fotovoltaica.pdf>) [data de consulta: 03/03/2011]

Anónimo (s.d) *Énergie Renouvelable.* Wikipedia ([http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie\\_renouvelable](http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_renouvelable)) [data de consulta: 21/02/2011]

Anónimo (s.d) *Énergie.* Wikipedia. ([http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie#Sources\\_d.27.C3.A9nergie](http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie#Sources_d.27.C3.A9nergie)) [data de consulta: 17/02/2011]

Anónimo (s.d) *Sistemas de Solares Térmicos.* Paine Solar Térmico. (<http://www.painelsolartermico.com/sistemas-solares-termicos/>) [data de consulta: 18/03/2011]

Arthus-Bertrand, Y (2009) Home. Europa Corp.

Castro, R. M. G. 2002. Introdução à Energia Fotovoltaica. Instituto Técnico Superior, Unidade Técnica de Lisboa.

*Decreto-Lei 363/2007 de 2 Novembro 2007.* Diário da República, 1ª série Nº 211. Ministério da Economia e da Inovação.

*Decreto-Lei nº 118-A/2010 de 25 Outubro 2010.* Diário da República, 1ª série Nº 207. Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento.



Dias, N. F. R. M. 2010. *Sistema computacional de apoio à microgeração baseada em movimentos naturais*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG). Disponível: <http://www.dgge.pt> [data de consulta: 16/02/2011]

Duarte, T. A. F. 2010. A microgeração e o Poder Local. Faculdade de Economia, Universidade de Coimbra.

EDP Serviço Universal (2010) *Origem da Electricidade*. (<http://www.edpsu.pt/pt/origemdaenergia/Pages/OrigensdaEnergia.aspx>) [data de consulta: 28/02/2011]

European Commision (2006) *Photovoltaic Solar Electricity Potencial in European Countries*. Joint Research Centre. ([http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eu\\_opt/pvgis\\_Europe-solar\\_opt\\_presentation.png](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eu_opt/pvgis_Europe-solar_opt_presentation.png)) [data de consulta: 01/03/2011]

European Union (2001) *Directive 2001/77/EC of The European Parliament And Of The Council*. Official Journal of the European Communities.

Kenny, Robert P. 2006. Energy Rating of PV Modules Based on Pvgis Irradiance and Temperature database. 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference.

Ministério da Economia, Inovação e Desenvolvimento (MEID). Disponível: <http://www.min-economia.pt/> [data de consulta: 21/02/2011]

Nogueira, H. s.d. Módulos Solares Fotovoltaicos. O electricista.

Peixoto, E. M. A. (2001) *Silício*. (<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc14/v14a12.pdf>) [data de consulta: 04/03/2011]

Pita, F. s.d. Apontamentos RTIEBT.

Portal Renováveis na Hora. Disponível: [www.renovaveisnagora.com](http://www.renovaveisnagora.com)

Portugal Eficiência 2015 PNAEE – Anexos – Versão Consulta Pública. 2008. Disponível: <http://www.adene.pt/NR/rdonlyres/00000260/kmtqgwbxjpqxhccwuzihrsftwqxjubgr/PortugalEfici%C3%A2ncia2015AnexosConsultaP%C3%BAblica.pdf>

Proença, E. D. R. B. 2007. A Energia Solar Fotovoltaica em Portugal. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

Programa Comunitário ALTENER. Energia Fotovoltaica, Manual sobre tecnologias, projecto e instalação. 2004

Shuttenhelm R. (2010) *The World Energy Outlook 2010: The 450 Scenario and other estimates*. (<http://www.bitsofscience.org/world-energy-outlook-2010-519/>) [data de consulta: 21/02/2011].

United Nations (2008) *Kyoto Protocol To The United Nations Framework Convention On Climate Change*. (<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>) [data de consulta: 21/02/2011]

United Nations (2009) *Copenhagen Accord*. ([http://unfccc.int/files/meetings/cop\\_15/application/pdf/cop15\\_cph\\_auv.pdf](http://unfccc.int/files/meetings/cop_15/application/pdf/cop15_cph_auv.pdf)) [data de consulta: 21/02/2011]

***ANEXO A : Simulação PVGIS da instalação de microgeração em Murça.***

## Performance of Grid-connected PV

### PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 41°24'28" North, 7°24'58" West, Elevation: 441 m a.s.l.,

Nominal power of the PV system: 4.1 kW (crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature: 10.6% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.5%

Other losses (cables, inverter etc.): 11.0%

Combined PV system losses: 22.4%

Fixed system: inclination=35 deg., orientation=0 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	10.30	320	3.05	94.5
Feb	12.00	336	3.59	100
Mar	16.90	524	5.18	161
Apr	16.20	486	5.04	151
May	18.20	564	5.74	178
Jun	19.70	590	6.33	190
Jul	20.00	619	6.47	200
Aug	20.40	634	6.60	205
Sep	18.00	540	5.70	171
Oct	14.00	433	4.31	134
Nov	9.87	296	2.95	88.6
Dec	7.52	233	2.23	68.1
Year	15.30	465	4.77	145
Total for year		5580		1740

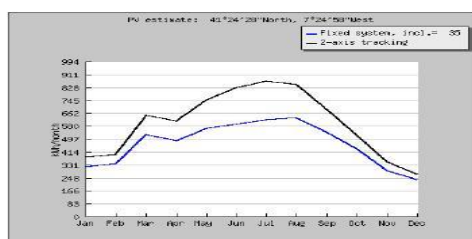
2-axis tracking system				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	12.40	383	3.73	116
Feb	14.20	398	4.31	121
Mar	21.00	650	6.48	201
Apr	20.40	612	6.38	191
May	24.10	746	7.61	236
Jun	27.60	827	8.87	266
Jul	28.00	867	9.05	281
Aug	27.30	848	8.85	274
Sep	22.90	687	7.26	218
Oct	16.80	521	5.23	162
Nov	11.70	350	3.54	108
Dec	8.71	270	2.63	81.6
Year	19.60	597	6.17	188
Total for year		7160		2250

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)

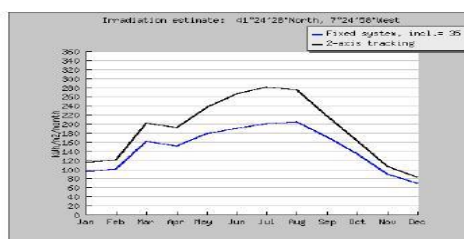
Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

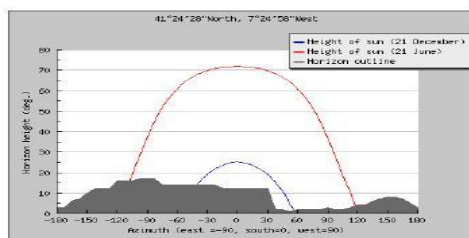
Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)



Monthly energy output from fixed-angle PV system



Monthly in-plane irradiation for fixed angle



Outline of horizon with sun path for winter and summer solstice

Figura A.1- Simulação PVGIS em Murça.

**Tabela A.1 - Dados de produção de energia em kWh, obtidos através da simulação PVGIS para sistema fixo, em Murça.**

Meses	Sistema Fixo																			
	Ano																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<i>Janeiro</i>	320	317	314	310	307	304	301	298	295	292	290	288	285	283	281	279	276	274	272	270
<i>Fevereiro</i>	336	333	329	326	323	320	316	313	310	307	304	302	300	297	295	293	290	288	286	283
<i>Março</i>	524	519	514	508	503	498	493	488	484	479	475	471	467	464	460	456	453	449	445	442
<i>Abril</i>	486	481	476	472	467	462	458	453	448	444	440	437	433	430	426	423	420	416	413	410
<i>Maio</i>	564	558	553	547	542	536	531	526	520	515	511	507	503	499	495	491	487	483	479	475
<i>Junho</i>	590	584	578	572	567	561	555	550	544	539	535	530	526	522	518	514	510	505	501	497
<i>Julho</i>	619	613	607	601	595	589	583	577	571	565	561	556	552	548	543	539	535	530	526	522
<i>Agosto</i>	634	628	621	615	609	603	597	591	585	579	575	570	565	561	556	552	548	543	539	534
<i>Setembro</i>	540	535	529	524	519	514	508	503	498	493	489	485	482	478	474	470	466	463	459	455
<i>Outubro</i>	433	429	424	420	416	412	408	404	400	396	392	389	386	383	380	377	374	371	368	365
<i>Novembro</i>	296	293	290	287	284	281	279	276	273	270	268	266	264	262	260	258	256	254	252	250
<i>Dezembro</i>	233	231	228	226	224	222	219	217	215	213	211	209	208	206	204	203	201	200	198	196

<i>Energia Produzida (kWh)</i>	5575	5519	5464	5409	5355	5302	5249	5196	5144	5093	5052	5012	4972	4932	4892	4853	4814	4776	4738	4700
<i>Receita Prevista (€)</i>	2119	2097	2076	2056	2035	2015	1995	1975	1132	1120	1111	1103	1094	1085	1076	534	530	525	521	517
<i>Emissões CO<sub>2</sub> evitadas (ton)</i>	1,91	1,89	1,87	1,86	1,84	1,82	1,80	1,78	1,76	1,75	1,73	1,72	1,71	1,69	1,68	1,66	1,65	1,64	1,63	1,61
<i>Tep Evitados</i>	0,48	0,47	0,47	0,47	0,46	0,46	0,45	0,45	0,44	0,44	0,43	0,43	0,43	0,42	0,42	0,42	0,41	0,41	0,41	0,40

**Tabela A.2 - Dados de produção de energia em kWh, obtidos através da simulação PVGIS para um seguidor solar 2-eixos, em Murça.**

Meses	<i>Seguidor Solar 2 Eixos</i>																			
	Ano																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<i>Janeiro</i>	383	379	375	372	368	364	361	357	353	350	347	344	342	339	336	333	331	328	325	323
<i>Fevereiro</i>	398	394	390	386	382	378	375	371	367	364	361	358	355	352	349	346	344	341	338	336
<i>Março</i>	650	644	637	631	624	618	612	606	600	594	589	584	580	575	570	566	561	557	552	548
<i>Abril</i>	612	606	600	594	588	582	576	570	565	559	555	550	546	541	537	533	529	524	520	516
<i>Maio</i>	746	739	731	724	717	709	702	695	688	681	676	671	665	660	655	649	644	639	634	629
<i>Junho</i>	827	819	811	802	794	786	779	771	763	755	749	743	737	732	726	720	714	708	703	697
<i>Julho</i>	867	858	850	841	833	825	816	808	800	792	786	779	773	767	761	755	749	743	737	731
<i>Agosto</i>	848	840	831	823	815	806	798	790	782	775	768	762	756	750	744	738	732	726	721	715
<i>Setembro</i>	687	680	673	667	660	653	647	640	634	628	623	618	613	608	603	598	593	589	584	579
<i>Outubro</i>	521	516	511	506	500	495	491	486	481	476	472	468	465	461	457	454	450	446	443	439
<i>Novembro</i>	350	347	343	340	336	333	330	326	323	320	317	315	312	310	307	305	302	300	297	295
<i>Dezembro</i>	270	267	265	262	259	257	254	252	249	247	245	243	241	239	237	235	233	231	229	228

<i>Energia Produzida (kWh)</i>	7159	7087	7017	6946	6877	6808	6740	6673	6606	6540	6488	6436	6384	6333	6282	6232	6182	6133	6084	6035
<i>Receita Prevista (€)</i>	2720	2693	2666	2640	2613	2587	2561	2536	1453	1439	1427	1416	1405	1393	1382	686	680	675	669	664
<i>Emissões CO<sub>2</sub> evitadas (ton)</i>	2,46	2,43	2,41	2,38	2,36	2,34	2,31	2,29	2,27	2,24	2,23	2,21	2,19	2,17	2,15	2,14	2,12	2,10	2,09	2,07
<i>Tep Evitados</i>	0,62	0,61	0,60	0,60	0,59	0,59	0,58	0,57	0,57	0,56	0,56	0,55	0,55	0,54	0,54	0,54	0,53	0,53	0,52	0,52

***ANEXO B : Análise económica da instalação de microgeração em Murça.***

**Tabela B.1 - Análise económica, com recurso a financiamento para um sistema fixo, em Murça. Valores expressos em Euros.**

Com financiamento - Fixo	Anos																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(+) Receita Bruta		2119	2097	2076	2056	2035	2015	1995	1975	1132	1120	1111	1103	1094	1085	1076	534	530	525	521	517
(-) Investimento Inicial	1500																				
(-) Prestação	0	1820,84	1820,84	1820,84	1820,84	1820,84	1820,84	1820,84	1820,84	1092,65	1092,65										
(-) Manutenção		0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	150	150	150	150	150
(-) Seguro		30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30					
Cash Flow	-1500	268	146	125	105	84	64	44	24	-91	-102	981	973	964	955	946	384	380	375	371	367
Cash Flow Acumulado	-1500	-1232	-1086	-960	-856	-771	-708	-664	-640	-731	-833	148	1121	2084	3039	3986	4370	4749	5125	5496	5863

**Tabela B.2 - Análise económica, sem recurso a financiamento para um sistema fixo, em Murça. Valores expressos em Euros.**

Sem financiamento - Fixo	Anos																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(+) Receita Bruta		2119	2097	2076	2056	2035	2015	1995	1975	1132	1120	1111	1103	1094	1085	1076	534	530	525	521	517
(-) Investimento Inicial	15000																				
(-) Prestação																					
(-) Manutenção		0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	150	150	150	150	150
(-) Seguro		30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30					
Cash Flow	-15000	2089	1967	1946	1926	1905	1885	1865	1845	1002	990	981	973	964	955	946	384	380	375	371	367
Cash Flow Acumulado	-15000	-12912	-10944	-8998	-7072	-5167	-3283	-1418	427	1428	2419	3400	4373	5337	6292	7238	7622	8001	8377	8748	9115



**Tabela B.3 - Análise económica, com recurso a financiamento para um *tracker*, em Murça. Valores expressos em Euros.**

Com financiamento - Tracker	Anos																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(+) Receita Bruta		2720	2693	2666	2640	2613	2587	2561	2536	1453	1439	1427	1416	1405	1393	1382	686	680	675	669	664
(-) Investimento Inicial	1850																				
(-) Prestação	0	2245,71	2245,71	2245,71	2245,71	2245,71	2245,71	2245,71	2245,71	1347,60	1347,60										
(-) Manutenção		0	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200
(-) Seguro		37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37					
Cash Flow	-1850	438	261	234	207	181	154	129	103	-81	-96	1240	1229	1218	1206	1195	486	480	475	469	464
Cash Flow Acumulado	-1850	-1412	-1152	-918	-711	-531	-376	-248	-145	-226	-322	918	2147	3365	4571	5766	6251	6732	7206	7675	8139

**Tabela B.4 - Análise económica, sem recurso a financiamento para um *tracker*, em Murça. Valores expressos em Euros.**

Sem financiamento - Tracker	Anos																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(+) Receita Bruta		2720	2693	2666	2640	2613	2587	2561	2536	1453	1439	1427	1416	1405	1393	1382	686	680	675	669	664
(-) Investimento Inicial	18500																				
(-) Prestação																					
(-) Manutenção		0	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200
(-) Seguro		37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37					
Cash Flow	-18500	2683	2506	2479	2453	2426	2400	2374	2349	1266	1252	1240	1229	1218	1206	1195	486	480	475	469	464
Cash Flow Acumulado	-18500	-15817	-13310	-10831	-8378	-5952	-3552	-1178	1171	2437	3689	4929	6158	7375	8582	9777	10262	10742	11217	11686	12150

***ANEXO C: Simulação PVGIS e análise económica em Sobral de Monte Agraço***

## Performance of Grid-connected PV

### PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 39°1'6" North, 9°9'6" West, Elevation: 255 m a.s.l.,

Nominal power of the PV system: 4.1 kW (crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature: 10.6% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.6%

Other losses (cables, inverter etc.): 11.0%

Combined PV system losses: 22.5%

Fixed system: inclination=35 deg., orientation=0 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	11.80	367	3.49	108
Feb	12.60	363	3.79	106
Mar	17.80	551	5.44	169
Apr	17.10	513	5.32	160
May	18.70	579	5.86	182
Jun	19.50	585	6.25	188
Jul	20.30	629	6.57	204
Aug	20.50	635	6.63	206
Sep	18.70	581	5.98	179
Oct	15.80	490	4.91	152
Nov	11.50	346	3.51	105
Dec	10.70	333	3.20	99.3
Year	16.30	495	5.09	155
Total for year		5940		1860

2-axis tracking system				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	14.90	462	4.45	138
Feb	15.60	436	4.71	132
Mar	22.90	710	7.00	217
Apr	22.60	679	7.02	211
May	26.10	808	8.12	252
Jun	29.20	877	9.31	279
Jul	30.40	942	9.76	302
Aug	29.10	903	9.38	290
Sep	24.90	747	7.93	238
Oct	20.20	625	6.29	195
Nov	14.50	435	4.50	135
Dec	13.50	419	4.12	128
Year	22.00	670	6.89	210
Total for year		8040		2520

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)

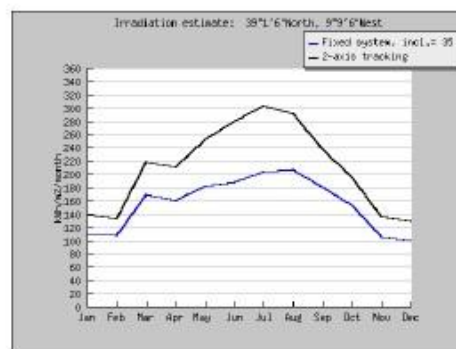
Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)



Monthly energy output from fixed-angle PV system



Monthly in-plane irradiation for fixed angle

Figura C.1- Simulação PVGIS em Sobral de Monte Agraço.

**Tabela C.1 - Dados de produção de energia em kWh, obtidos através da simulação PVGIS para sistema fixo, em Sobral Monte Agraço.**

Meses	Sistema Fixo																			
	Ano																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<i>Janeiro</i>	367	363	360	356	353	349	346	342	339	335	333	330	327	325	322	319	317	314	312	309
<i>Fevereiro</i>	353	349	346	343	339	336	332	329	326	322	320	317	315	312	310	307	305	302	300	298
<i>Março</i>	551	545	540	535	529	524	519	514	508	503	499	495	491	487	484	480	476	472	468	464
<i>Abril</i>	513	508	503	498	493	488	483	478	473	469	465	461	457	454	450	447	443	439	436	432
<i>Maio</i>	579	573	567	562	556	551	545	540	534	529	525	520	516	512	508	504	500	496	492	488
<i>Junho</i>	585	579	573	568	562	556	551	545	540	534	530	526	522	518	513	509	505	501	497	493
<i>Julho</i>	629	623	616	610	604	598	592	586	580	575	570	565	561	556	552	548	543	539	535	530
<i>Agosto</i>	635	629	622	616	610	604	598	592	586	580	575	571	566	562	557	553	548	544	540	535
<i>Setembro</i>	561	555	550	544	539	534	528	523	518	512	508	504	500	496	492	488	484	481	477	473
<i>Outubro</i>	490	485	480	475	471	466	461	457	452	448	444	440	437	433	430	427	423	420	416	413
<i>Novembro</i>	346	343	339	336	332	329	326	322	319	316	314	311	309	306	304	301	299	296	294	292
<i>Dezembro</i>	333	330	326	323	320	317	314	310	307	304	302	299	297	295	292	290	288	285	283	281

<i>Energia Produzida (kWh)</i>	5942	5883	5824	5766	5708	5651	5594	5538	5483	5428	5385	5342	5299	5256	5214	5173	5131	5090	5050	5009
<i>Receita Prevista (€)</i>	2258	2235	2213	2191	2169	2147	2126	2105	1206	1194	1185	1175	1166	1156	1147	569	564	560	555	551
<i>Emissões CO<sub>2</sub> evitadas (ton)</i>	2,04	2,02	2,00	1,98	1,96	1,94	1,92	1,90	1,88	1,86	1,85	1,83	1,82	1,80	1,79	1,77	1,76	1,75	1,73	1,72
<i>Tep Evitados</i>	0,51	0,51	0,50	0,50	0,49	0,49	0,48	0,48	0,47	0,47	0,46	0,46	0,46	0,45	0,45	0,44	0,44	0,44	0,43	0,43

**Tabela C.2 - Dados de produção de energia em kWh, obtidos através da simulação PVGIS para um seguidor solar 2-eixos, em Sobral Monte Agraço.**

Meses	Seguidor Solar 2 Eixos																			
	Ano																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<i>Janeiro</i>	462	457	453	448	444	439	435	431	426	422	419	415	412	409	405	402	399	396	393	389
<i>Fevereiro</i>	436	432	427	423	419	415	410	406	402	398	395	392	389	386	383	380	377	374	371	368
<i>Março</i>	710	703	696	689	682	675	668	662	655	649	643	638	633	628	623	618	613	608	603	599
<i>Abril</i>	679	672	665	659	652	646	639	633	627	620	615	610	606	601	596	591	586	582	577	572
<i>Maio</i>	808	800	792	784	776	768	761	753	746	738	732	726	721	715	709	703	698	692	687	681
<i>Junho</i>	877	868	860	851	842	834	826	817	809	801	795	788	782	776	770	763	757	751	745	739
<i>Julho</i>	942	933	923	914	905	896	887	878	869	861	854	847	840	833	827	820	813	807	801	794
<i>Agosto</i>	903	894	885	876	867	859	850	842	833	825	818	812	805	799	792	786	780	774	767	761
<i>Setembro</i>	747	740	732	725	718	710	703	696	689	682	677	672	666	661	656	650	645	640	635	630
<i>Outubro</i>	625	619	613	606	600	594	588	583	577	571	566	562	557	553	548	544	540	535	531	527
<i>Novembro</i>	435	431	426	422	418	414	410	405	401	397	394	391	388	385	382	379	376	373	370	367
<i>Dezembro</i>	419	415	411	407	402	398	394	391	387	383	380	377	374	371	368	365	362	359	356	353

<i>Energia Produzida (kWh)</i>	8043	7963	7883	7804	7726	7649	7572	7497	7422	7347	7289	7230	7172	7115	7058	7002	6946	6890	6835	6780
<i>Receita Prevista (€)</i>	3056	3026	2996	2966	2936	2907	2877	2849	1633	1616	1604	1591	1578	1565	1553	770	764	758	752	746
<i>Emissões CO2 evitadas (ton)</i>	2,76	2,73	2,70	2,68	2,65	2,62	2,60	2,57	2,55	2,52	2,50	2,48	2,46	2,44	2,42	2,40	2,38	2,36	2,34	2,33
<i>Tep Evitados</i>	0,69	0,68	0,68	0,67	0,66	0,66	0,65	0,64	0,64	0,63	0,63	0,62	0,62	0,61	0,61	0,60	0,60	0,59	0,59	0,58

**Tabela C.3 - Análise económica, sem recurso a financiamento para um sistema fixo, em Sobral de Monte Agraço. Valores expressos em Euros.**

Sem financiamento - Fixo	Anos																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(+) Receita Bruta		2258	2235	2213	2191	2169	2147	2126	2105	1206	1194	1185	1175	1166	1156	1147	569	564	560	555	551
(-) Investimento Inicial	15000																				
(-) Prestação																					
(-) Manutenção		0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	150	150	150	150	150
(-) Seguro		30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30					
Cash Flow	-15000	2228	2105	2083	2061	2039	2017	1996	1975	1076	1064	1055	1045	1036	1026	1017	419	414	410	405	401
Cash Flow Acumulado	-15000	-12772	-10667	-8584	-6523	-4484	-2466	-471	1504	2580	3644	4699	5744	6780	7806	8824	9243	9657	10067	10472	10873

**Tabela C.4 - Análise económica, sem recurso a financiamento para um *tracker*, em Sobral de Monte Agraço. Valores expressos em Euros.**

Sem financiamento - Tracker	Anos																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(+) Receita Bruta		3056	3026	2996	2966	2936	2907	2877	2849	1633	1616	1604	1591	1578	1565	1553	770	764	758	752	746
(-) Investimento Inicial	18500																				
(-) Prestação																					
(-) Manutenção		0	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200
(-) Seguro		37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37					
Cash Flow	-18500	3019	2839	2809	2779	2749	2720	2690	2662	1446	1429	1417	1404	1391	1378	1366	570	564	558	552	546
Cash Flow Acumulado	-18500	-15481	-12642	-9833	-7055	-4306	-1586	1104	3766	5212	6641	8058	9461	10852	12230	13596	14166	14731	15288	15840	16386

***ANEXO D: Simulação PVGIS e análise económica em Amareleja***

## Performance of Grid-connected PV

### PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 38°12'35" North, 7°13'38" West, Elevation: 203 m a.s.l.,

Nominal power of the PV system: 4.1 kW (crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature: 12.0% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.7%

Other losses (cables, inverter etc.): 11.0%

Combined PV system losses: 23.8%

Fixed system: inclination=35 deg., orientation=0 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	13.40	416	4.00	124
Feb	14.10	394	4.27	120
Mar	19.10	592	5.98	185
Apr	17.70	532	5.61	168
May	20.20	627	6.49	201
Jun	20.10	603	6.60	198
Jul	20.50	634	6.79	211
Aug	20.60	640	6.86	213
Sep	18.90	568	6.15	185
Oct	17.20	533	5.44	169
Nov	12.50	375	3.82	115
Dec	11.60	361	3.47	108
Year	17.20	523	5.47	166
Total for year		6270		2000

2-axis tracking system				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	17.20	532	5.21	162
Feb	17.70	497	5.44	152
Mar	25.60	794	8.04	249
Apr	24.30	729	7.68	230
May	30.30	940	9.68	300
Jun	31.50	946	10.30	308
Jul	31.80	967	10.50	325
Aug	30.50	946	10.10	312
Sep	25.60	767	8.29	249
Oct	22.50	697	7.16	222
Nov	15.90	476	4.92	148
Dec	14.80	458	4.50	139
Year	24.00	731	7.66	233
Total for year		8770		2800

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)

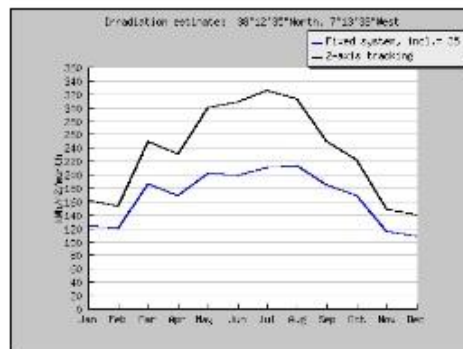
Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)



Monthly energy output from fixed-angle PV system



Monthly in-plane irradiation for fixed angle

Figura D.1- Simulação PVGIS em Amareleja.



**Tabela D.1 - Dados de produção de energia em kWh, obtidos através da simulação PVGIS para sistema fixo, em Amareleja.**

Meses	Sistema Fixo																			
	Ano																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<i>Janeiro</i>	416	412	408	404	400	396	392	388	384	380	377	374	371	368	365	362	359	356	354	351
<i>Fevereiro</i>	394	390	386	382	378	375	371	367	364	360	357	354	351	349	346	343	340	338	335	332
<i>Março</i>	592	586	580	574	569	563	557	552	546	541	536	532	528	524	520	515	511	507	503	499
<i>Abril</i>	532	527	521	516	511	506	501	496	491	486	482	478	474	471	467	463	459	456	452	448
<i>Maio</i>	627	621	615	608	602	596	590	584	579	573	568	564	559	555	550	546	541	537	533	529
<i>Junho</i>	603	597	591	585	579	573	568	562	556	551	546	542	538	533	529	525	521	517	512	508
<i>Julho</i>	634	628	621	615	609	603	597	591	585	579	575	570	565	561	556	552	548	543	539	534
<i>Agosto</i>	640	634	627	621	615	609	603	597	591	585	580	575	571	566	562	557	553	548	544	540
<i>Setembro</i>	568	562	557	551	546	540	535	529	524	519	515	511	507	502	498	494	491	487	483	479
<i>Outubro</i>	533	528	522	517	512	507	502	497	492	487	483	479	475	472	468	464	460	457	453	449
<i>Novembro</i>	375	371	368	364	360	357	353	350	346	343	340	337	334	332	329	326	324	321	319	316
<i>Dezembro</i>	361	357	354	350	347	343	340	336	333	330	327	325	322	319	317	314	312	309	307	304

<i>Energia Produzida (kWh)</i>	6275	6212	6150	6089	6028	5967	5908	5849	5790	5732	5686	5641	5596	5551	5507	5463	5419	5376	5333	5290
<i>Receita Prevista (€)</i>	2385	2361	2337	2314	2291	2268	2245	2223	1274	1261	1251	1241	1231	1221	1211	601	596	591	587	582
<i>Emissões CO<sub>2</sub> evitadas (ton)</i>	2,15	2,13	2,11	2,09	2,07	2,05	2,03	2,01	1,99	1,97	1,95	1,93	1,92	1,90	1,89	1,87	1,86	1,84	1,83	1,81
<i>Tep Evitados</i>	0,54	0,53	0,53	0,52	0,52	0,51	0,51	0,50	0,50	0,49	0,49	0,49	0,48	0,48	0,47	0,47	0,47	0,46	0,46	0,45

**Tabela D.2 - Dados de produção de energia em kWh, obtidos através da simulação PVGIS para um seguidor solar 2-eixos, em Amareleja.**

Meses	Seguidor Solar 2 Eixos																			
	Ano																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<i>Janeiro</i>	532	527	521	516	511	506	501	496	491	486	482	478	474	471	467	463	459	456	452	448
<i>Fevereiro</i>	497	492	487	482	477	473	468	463	459	454	450	447	443	440	436	433	429	426	422	419
<i>Março</i>	794	786	778	770	763	755	748	740	733	725	720	714	708	702	697	691	686	680	675	669
<i>Abril</i>	729	722	714	707	700	693	686	679	673	666	661	655	650	645	640	635	630	625	620	615
<i>Maio</i>	940	931	921	912	903	894	885	876	867	859	852	845	838	832	825	818	812	805	799	792
<i>Junho</i>	946	937	927	918	909	900	891	882	873	864	857	850	844	837	830	824	817	810	804	797
<i>Julho</i>	987	977	967	958	948	939	929	920	911	902	894	887	880	873	866	859	852	846	839	832
<i>Agosto</i>	946	937	927	918	909	900	891	882	873	864	857	850	844	837	830	824	817	810	804	797
<i>Setembro</i>	767	759	752	744	737	729	722	715	708	701	695	690	684	679	673	668	662	657	652	647
<i>Outubro</i>	697	690	683	676	670	663	656	650	643	637	632	627	622	617	612	607	602	597	592	588
<i>Novembro</i>	476	471	467	462	457	453	448	444	439	435	431	428	424	421	418	414	411	408	405	401
<i>Dezembro</i>	458	453	449	444	440	436	431	427	423	418	415	412	408	405	402	399	396	392	389	386

<i>Energia Produzida (kWh)</i>	8769	8681	8594	8509	8423	8339	8256	8173	8092	8011	7947	7883	7820	7757	7695	7634	7573	7512	7452	7392
<i>Receita Prevista (€)</i>	3332	3299	3266	3233	3201	3169	3137	3106	1780	1762	1748	1734	1720	1707	1693	840	833	826	820	813
<i>Emissões CO<sub>2</sub> evitadas (ton)</i>	3,01	2,98	2,95	2,92	2,89	2,86	2,83	2,80	2,78	2,75	2,73	2,70	2,68	2,66	2,64	2,62	2,60	2,58	2,56	2,54
<i>Tep Evitados</i>	0,75	0,75	0,74	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	0,70	0,69	0,68	0,68	0,67	0,67	0,66	0,66	0,65	0,65	0,64	0,64

**Tabela D.3 - Análise económica, sem recurso a financiamento para um sistema fixo, em Amareleja. Valores expressos em Euros.**

Sem financiamento - Fixo	Anos																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(+) Receita Bruta		2385	2361	2337	2314	2291	2268	2245	2223	1274	1261	1251	1241	1231	1221	1211	601	596	591	587	582
(-) Investimento Inicial	15000																				
(-) Prestação																					
(-) Manutenção		0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	150	150	150	150	150
(-) Seguro		30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30					
Cash Flow	-15000	2355	2231	2207	2184	2161	2138	2115	2093	1144	1131	1121	1111	1101	1091	1081	451	446	441	437	432
Cash Flow Acumulado	-15000	-12646	-10415	-8208	-6024	-3864	-1726	389	2482	3625	4756	5878	6989	8090	9181	10262	10713	11159	11601	12037	12469

**Tabela D.4 - Análise económica, sem recurso a financiamento para um *tracker*, em Amareleja. Valores expressos em Euros.**

Sem financiamento - Tracker	Anos																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(+) Receita Bruta		3332	3299	3266	3233	3201	3169	3137	3106	1780	1762	1748	1734	1720	1707	1693	840	833	826	820	813
(-) Investimento Inicial	18500																				
(-) Prestação																					
(-) Manutenção		0	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200
(-) Seguro		37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37					
Cash Flow	-18500	3295	3112	3079	3046	3014	2982	2950	2919	1593	1575	1561	1547	1533	1520	1506	640	633	626	620	613
Cash Flow Acumulado	-18500	-15205	-12093	-9014	-5968	-2954	28	2978	5897	7490	9066	10627	12174	13708	15227	16733	17373	18006	18632	19252	19865